



الشعبية الديمقراطية الجزائرية الجمهورية
République Algérienne Démocratique Et Populaire
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
جامعة وهران 2
Université d'Oran 2
كلية علوم الأرض و الكون
Faculté des Sciences de la Terre et de l'Univers

Mémoire de master

*En vue de l'obtention du diplôme de Master en Géographie
Et Aménagement de Territoire*

MASTER : Gestion des Risques Et Sécurité Civile

Présentée par :
BOURZAK Adel
LASSAL Abdelhamid

**EROSION HYDRIQUE ET RISQUE D'ENVASEMENT DES
BARRAGES : ETUDE DE CAS BARRAGE DE GARGAR (WILAYA
DE RELIZANE)**

Soutenu le 04/07/2021 devant le jury composé de :

Président	BELLAL Sid Ahmed	Professeur	Université d'Oran 2
Rapporteur	AIT MENGUELLAT	M.A.A	Université d'Oran 2
Examineur	EL ZERY wael	M.C.A	Université d'Oran 2

Juillet 2021

Remerciements

Je tiens tout d'abord à remercier Dieu le tout puissant et miséricordieux, qui m'a donné la force, le courage et la patience d'accomplir ce modeste travail.

La réalisation de ce mémoire de Master a été possible grâce au concours de plusieurs personnes, à qui je voudrais témoigner toute ma reconnaissance.

Je tiens à exprimer ma gratitude et mes remerciements les plus sincères à mon encadreur Mme AIT MENGUELLAT de m'avoir encadré, orienté, aidé et Conseillé judicieusement.

Je tiens à remercier en particulier, tous le corps enseignants et les personnels de Département de la Géographie et l'aménagement de territoire qui veillent sur notre bonne formation.

Je tiens à remercier également toute personne ayant contribué de près ou de loin à l'élaboration de ce travail et à toute personne qui m'a apporté son aide en me consacrant une partie de son temps.

Pour finir, j'adresse mes vifs remerciements à mes parents pour leur soutien constant et leur présence quotidienne tout au long de mes études.

Je n'y serais pas arrivée sans eux et j'espère qu'ils trouveront en ce modeste travail, la récompense de tout ce qu'ils m'ont enseigné. J'ai également une pensée pour mes frères, ma sœur, qui ont également été présents

toutes ces années, m'apportant chacun leur soutien à leur manière.

Adel

DEDICACES

Je dédie ce modeste travail au seigneur DIEU tout puissant qui m'a créé

et m'a donné la faculté de connaître et de comprendre .

A mes très chers amis qui était toujours à mes coté

A toute personne utilisant ce document pour un bon usage.

Résumé

L'érosion hydrique est la principale cause de l'envasement des barrages. Ce phénomène naturel enregistre les valeurs les plus élevées dans les régions arides et semi arides comme les pays du Maghreb et plus particulièrement en Algérie.

Le barrage de Gargar, situé sur le bassin versant de l'Oued Rhiou (la wilaya de Relizane), objet de notre étude, fait partie des barrages, relativement, les plus touchés par le problème d'envasement suite à l'érosion hydrique et le transport solide favorisé par l'érosivité des pluies et l'érodabilité des sols constitués essentiellement de marnes.

Par ailleurs, la nature du relief présente des pentes importantes et la faible densité du couvert végétal constitué essentiellement de cultures annuelles, favorisent le ruissellement et donc le transport des sédiments.

L'estimation de l'érosion hydrique et perte de sol a été réalisée par une méthode quantitative, en occurrence, par l'équation universelle USLE et la durée de vie de barrage par un levé bathymétrique.

Les résultats apportés dans le cadre de cette étude montrent une estimation moyenne potentielle des pertes de sols de 24,67t/ha/an, un périmètre de 770km² très sensible à l'érosion.

Sur la base de mesures effectuées par l'agence nationale des barrages, il en se ressort que le volume de vase déposée au niveau de barrage de Gargar est évalué à 166,507 Hm³ avec un taux d'envasement égal à 5,55 Hm³/an, des chiffres énormes qui confirment l'ampleur du risque d'envasement de l'ouvrage.

Suite à cet état de fait, des interventions, à court et moyen et long terme doivent être mises en place afin de prolonger au maximum la durée de vie de barrage, compte tenu de sa grande importance dans la région.

Mots clés : Erosion hydrique, méthode quantitative, équation USLE, barrage Gargar, envasement, bassin versant. Wilaya de Relizane.

المخلص :

التعرية المائية هي السبب الرئيسي لتراكم الطمي في السدود. تسجل هذه الظاهرة الطبيعية أعلى القيم في المناطق الجافة وشبه الجافة مثل البلدان المغاربية وبشكل خاص في الجزائر.

سد قرقر، الواقع في مستجمع المياه لواد رهيو (ولاية غليزان)، موضوع دراستنا، هو أحد السدود الأكثر تضرراً من مشكلة التظمي بفضل الانجراف المائي ونقل الرواسب الصلبة للذدان تزيد من حدتها عدوانية الأمطار وتآكل التربة المكونة أساساً من الطين الكلسي.

بالإضافة إلى ذلك، فإن طبيعة التضاريس تمثل منحدرات كبيرة وكثافة منخفضة للغطاء النباتي الذي يتكون بشكل أساسي من المحاصيل السنوية، مما يعزز الجريان السطحي وبالتالي نقل الرواسب.

تم إجراء تقدير التعرية المائية وفقدان التربة بطريقة كمية، في هذه الحالة، من خلال المعادلة العالمية USLE وعمر السد من خلال مسح الأعماق.

تظهر النتائج المقدمة في إطار هذه الدراسة متوسط تقدير محتمل لخسارة التربة بمقدار 24.67 طن / هكتار / سنة، في محيط 770 كيلومتر مربع شديد الحساسية للتعرية.

بناءً على ما معطيات وكالة السدود الوطنية والتحويلات، يبدو أن حجم الطمي المترسب في سد قرقر يقدر بـ 166.507 مليون متر مكعب بمعدل ترسيب 5.55 هكتار / سنة، وهي أرقام ضخمة تؤكد مدى خطر ترسب الهيكل.

بعد هذا الوضع، لا بد من وضع تدخلات، على المدى القريب والمتوسط، من أجل إطالة عمر السد قدر الإمكان، نظراً لأهميته الكبيرة في المنطقة.

الكلمات المفتاحية: التعرية المائية، الطريقة الكمية، معادلة USLE، سد قرقر، الترسيب، مستجمعات المياه، ولاية غليزان.

Abstract :

Water erosion is the main cause of the siltation of dams. This natural phenomenon records the highest values in arid and semi-arid regions such as the Maghreb countries and more particularly in Algeria.

The Gargar dam, located in the watershed of Oued Rhiou (the wilaya of Relizane), the subject of our study, is one of the dams, relatively, the most affected by the problem of siltation following water erosion and solid transport favored by the erosivity of the rains and the erodability of soils made up mainly of marl.

In addition, the nature of the relief presents significant slopes and the low density of the plant cover consisting mainly of annual crops, promotes runoff and therefore sediment transport.

The estimation of water erosion and soil loss was carried out by a quantitative method, in this case, by the universal equation USLE and the life of the dam by a bathymetric survey.

The results provided within the framework of this study show an average potential estimate of soil loss of 24.67t / ha / year, a perimeter of 770km² very sensitive to erosion.

On the basis of carried out by the National Dams Agency, it appears that the volume of silt deposited at the Gargar dam is estimated at 166.507 Hm³ with a siltation rate equal to 5.55 Hm³ / year, huge numbers which confirms the extent of the risk of siltation in the structure.

After this situation, it is necessary to put in place interventions, in the short and medium term, in order to extend the life of the dam as much as possible, given its great importance in the region.

Keywords: water erosion , quantitative method , USLE equation , Gargar Dam, sedimentation , watersheds , wilaya of Relizane .

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

Problématique	2
----------------------------	----------

CHAPITRE I . Contexte physique du Bassin versant de l'Oued Rhiou **Rhiou**

I.1 . La Situation géographique de bassin versant d'Oued Rhiou	6
I.2 . Le relief.....	7
I.3. La géologie de bassin.....	9
I.3.1.Le premier ère géologique.....	9
I.3.2.Le deuxième ère géologique.....	10
I.3.3 Le troisième ère géologique.....	11
I.3.4 Le quatrième ère géologique.....	11
I.4 Le sol.....	13
I.5 L'occupation de sol.....	13
I.5.1Forêts.....	14
I.5.2 L'agriculture.....	14
I.5. 3. L'élevage.....	16
I.6 Le climat.....	18
I.6.1. Les paramètres climatiques.....	18
I.6.2 Synthèse bioclimatique.....	22
I.7. L'étude socio-économique.....	25
I.7.1 Population.....	25
I.7.2 Économie.....	26

CHAPITRE II . L'état de risque d'envasement dans le barrage de Gargar

II.1Présentation de barrage de Gargar.....	28
II.1.1 L'histoire d'ouvrage.....	30
II.2. L'état du barrage de Gargar	30
II.3. Enjeux socio-économique de barrage de Gargar.....	32
II.4 Estimation de la durée de vie de barrage de Gargar.....	34
II.5 Moyens de lutte contre le risque d'envasement	35
II.6 Réglementation relative à l'intervention sur les barrages pour lutter contre les risques...	39

CHAPITRE III . Les caractéristiques morpho métriques de bassin versant de l'Oued Rhiou

III.1. Etude de forme.....	42
III.1.1 .Coefficient de forme.....	42
III.1.2. Rectangle équivalent	43
III.2. Etude de relief	43

III.2.1 Courbe hypsométrique.....	45
III.2.2 Altitude moyenne.....	46
II.2.3 Dénivelée	46
III.2.4 Indice de pente globale (Ig).....	46
III.2.5 Indice de pente moyenne Ipm.....	47
III.2.6 Dénivelée spécifique DS	47
III.3. Le réseau hydrographique.....	48
III .3.1 Densité de drainage Dd	50
III.3.2 Fréquence des talwegs	50
III.3.3 Rapport de confluence.....	51
III.3.4 Rapport des longueurs.....	51
III.3.5 Coefficient de torrencialité	51
III.3.6 Temps de concentration.....	51
III.3.7 Vites d'écoulement.....	52
III .4 Analyse des caractéristiques morphométriques.....	53

CHAPITRE IV . Estimation de l'érosion hydrique par l'application de l'équation universelle de pertes en sol (USLE) de bassin versant de l'Oued Rhiou

IV.1 Introduction	56
IV.2 Méthodologie de travail.....	58
IV.3 Inventaire des données utilisées.....	58
IV.4 Application de modèle USLE sur la zone d'étude	60
IV.4.1 Calcul de l'indice d'érosivité des pluies R (MJ.mm/ha.h.an).....	60
IV.4.2 Calcul de l'indice d'érodibilité des sols K (t.ha.h/ha.MJ.mm)	62
IV .4.3 Calcul du facteur de déclivité LS	64
IV.4.4 Calcul du facteur de couvert végétal C	66
IV.4.5 Calcul le facteur de travail de sol P	68
IV .5 Résultats de l'estimation des pertes de sols	70
IV.6 Conclusion	75
CONCLUSION GENERALE	77

LISTES DES FIGURES

Figure n°1 Carte de situation de bassin versant de l'Oued Rhiou (la zone d'étude).....	6
Figure n°2 Carte des pentes de bassin versant de l'Oued Rhiou.....	7
Figure n°3 Carte géologique de bassin versant de l'Oued Rhiou.....	11
Figure n°4 Partie amont de bassin versant de l'Oued Rhiou.....	13
Figure n°5 Les pratiques de l'agriculture dans le bassin versant.....	14
Figure n°6 Les pratiques de l'agriculture dans le bassin versant.....	14
Figure n°7 Les pratiques de l'agriculture dans le bassin versant.....	14
Figure n°8 Champ d'olivier dans le bassin versant de l'Oued Rhiou.....	15
Figure n°9 les parcours de l'élevage des animaux dans le bassin versant.....	15
Figure n°10 Occupation de sol de bassin versant de l'Oued Rhiou.....	16
Figure n°11 Courbe des précipitations moyennes mensuelles pour la station d'Ammi Moussa (1980-2016)	18
Figure n°12 Diagramme Ombrothermique de Bagnouls et Gausson (1980-2016).....	21
Figure n°13 Localisation de barrage de Gargar.....	28
Figure n°14 Photo aérienne de barrage de Gargar (par Kader Benali 2020).....	28
Figure n°15 Volume consommé par l'irrigation , Aep et evaporation de Barrage de Gargar (1993-2018).....	33
Figure n°16 seuils en gabion avec déversoir	35
Photo n°17 partie amont du bassin reboisée par le pin d'Alep.....	36
Figure n°18 Carte d'altitude de bassin versant de l'Oued Rhiou.....	43
Figure n°19 la courbe hypsométrique.....	45
Figure n°20 Carte de réseau hydrographique de bassin versant.....	48
Figure n°21 Organigramme de la méthodologie.....	58
Figure n°22 : la Carte d'érosivité des pluies (facteur R).....	60
Figure n°23 Carte d'érodibilité des sols (facteur K)	62
Figure n°24 Carte de facteur topographique LS.....	64
Figure n°25 Carte de couvert végétale C	66
Figure n°26 Cartes de facteurs P (pratiques antiérosives).....	68
Figure n°27 Carte d'estimation des pertes de sols par l'équation USLE de Bassin versant de l'Oued Rhiou.....	70
Figure n°28 Erosion linéaire sur les sols de BV de l'Oued Rhiou.....	71
Figure n° 29 : Carte de classe de risque érosif	72
Figure n°30 Erosion accéléré dans le bassin versant de l'Oued Rhiou.....	73

LISTES DES TABLEAUX

Tableau n°1 Classes des pentes de bassin versant de l'Oued Rhiou	6
Tableau n°2 L'occupation de sol de bassin versant de l'Oued Rhiou.....	12
Tableau n°3 Moyennes mensuelles des précipitations de la station d' (1980-2016).....	17
Tableau n°4 Variations saisonnières des précipitations.....	18
Tableau n°5 Températures mensuelles de la station d'Ammi moussa (1980– 2016).....	19
Tableau n°6 Type de climats en fonction des Amplitudes thermiques.....	20
Tableau n°7 Evaporation moyenne mensuelle (1980 – 2016).....	20
Tableau n°8 Classification de MFI.....	23
Tableau n°9 La population dans la zone d'ét Tableau IV.1 Capacité et l'état d'envasement de barrage de Gargar.....	24
Tableau n°10 Capacité et l'état d'envasement de barrage de Gargar.....	31
Tableau n°11 Volume d'eau consommé du Gargar (1993-2018).....	32
Tableau n°12 Estimation de la durée de vie de barrage de Gargar en 2018.....	34
Tableau n°13 Altitudes et surface cumulée de bassin versant de l'Oued Rhiou.....	44
Tableau n°14 Classification du relief (Ig).....	46
Tableau n°15 Classification du Relief en fonction de Ds	47
Tableau n°16 valeurs de Ig et Ds de bassin versant.....	47
Tableau n°17 le réseau hydrographique de bassin versant de l'Oued Rhiou	47
Tableau n°18 caractéristiques morphométriques du bassin versant.....	52
Tableau n°19 La valeur de K en fonction du type de sol sur le bassin versant de l'Oued Rhiou.....	61
Tableau n°20 Coefficient de couvert végétal C en fonction du type d'occupation du sol.....	65
Tableau n°21 Sensibilité des surfaces à l'érosion (ha) selon l'équation USLE	71

LISTE DES ABREVIATIONS

CIGB : comité international des grands barrages

USLE : Universal soil loses equation

ANBT : Agence national des barrages et transferts

MAO : Mostaganem Arzew Oran

AEP :Alimentation d'eau potable

UTM : Universal transverse mercator

MNT : Modèle numérique de terrain

SIG : System d'information géographique

DSMW: Digital soil map of the world

GLOREDA: Global rainfall erosivity assessment based on high-temporal resolution rainfall records

DRS : Défence et restauration des sols

MJ : Mégajoules

Ha : Hectare

t :tonnes

An : Année

BV : Bassin versant

Introduction générale :

Un barrage artificiel bâti en travers d'un fleuve ou d'une rivière, peut avoir plusieurs usages, pour la production d'électricité ou pour réguler le débit du cours d'eau, voire stocker de l'eau pour sa consommation.

Le phénomène de l'envasement des barrages est l'aboutissement d'un processus naturel d'érosion des bassins versants et du sapement des berges des cours d'eau. Les apports solides sont les principales causes de l'envasement d'une retenue collinaire ou un barrage.

Selon le Comité International des Grands Barrages (CIGB), plus de 50.000 grands barrages existants dans le monde avec une capacité très importante de stockage, qui se trouve menacer par l'envasement qui est une conséquence directe de l'érosion et de la sédimentation (Remini, 2009).

Ce phénomène naturel enregistre les valeurs les plus élevées dans les régions arides et semi arides comme le Maghreb et plus particulièrement l'Algérie.

Dans les régions arides et semi arides, Caractérisées par des périodes de sécheresse longues suivies par des pluies torrentielles ; automnales, sur des sols friables d'où risque de déclenchement des processus d'érosion. Conséquemment, le phénomène de l'envasement est devenu un risque qui menace sérieusement la capacité des barrages, dans les régions où les ressources en eau représentent un enjeu important. C'est l'une des conséquences la plus dramatique de l'érosion hydrique.

Cet envasement, qui représente les dépôts successifs des sédiments, pose des problèmes de quantité et de qualité des eaux des barrages. Il limite drastiquement leur capacité et donc leur durée d'exploitation. (Tadrict et al, 2016) .

En matière de quantité, l'infrastructure hydrotechnique Algérienne forte de 74 grands barrages, d'une capacité de 8 milliards de m³ est amputée annuellement d'une capacité de plus de 50 millions de m³ (Remini et Bensafia , 2002)

Environ 180 millions de tonnes de terre atteignent le littoral (écoulement exoréique), dont une partie se dépose dans les barrages réservoirs (Demmak, 1982), une quantité de 45 millions de m³ de vase se dépose chaque année dans les barrages Algériens (Remini, 2009).

Problématique :

En Algérie, les conséquences de l'érosion hydrique sont désastreuses particulièrement dans la partie Nord du pays, qui est une zone constituée essentiellement de roches tendres sensibles à l'érosion, avec un climat saisonnier irrégulier comportant des pluies souvent intenses et dévastatrices, induisant une érosion importante et difficile à quantifier par des méthodes classiques ; par exemple les parcelles de Wischmeier, qui par la suite cause l'envasement précoce des barrages en exploitation en favorisant le volume mort au détriment de l'eau utile ce qui aura fatalement un impact sur la durée de vie d'un barrage .

Le barrage de Gargar, situé sur le bassin versant de l'Oued Rhiou (la wilaya de Relizane), objet de notre étude, fait partie des barrages, relativement, les plus touchés par le problème d'envasement suite à l'érosion et le transport solide favorisé par l'errrosivité des pluies et l'errodabilité des sols constitués essentiellement de marnes.

Par ailleurs, la nature du relief présente des pentes importantes et la faible densité du couvert végétal favorisent le ruissellement et donc le transport des sédiments.

Sans aucun doute, si ce phénomène continu, sans aucune stratégie préventive afin de diminuer le processus de l'érosion et par conséquent l'envasement, les infrastructures à l'aval aussi bien l'AEP (alimentation en eau potable) que l'irrigation seront affectées.

Dans cette optique, notre travail consiste à déterminer potentiellement et actuellement des zones les plus touchées par l'érosion hydrique par une cartographie sélective des zones à risque à partir d'une quantification de l'érosion hydrique en estimant les pertes de sols dans le bassin versant de l'Oued Rhiou par l'application de l'équation universelle de pertes en sol (USLE).

Par ailleurs, des levés bathymétriques et leurs évolutions dans le temps permettront de connaître l'ampleur du risque d'envasement et de calculer la durée de vie du barrage.

Ces deux méthodes aboutiront à déterminer l'état du barrage et de proposer des solutions efficaces nécessitant une intervention à court, moyen et long terme.

Pour atteindre cet objectif, notre mémoire est composé de quatre chapitres, après une introduction générale :

- Le premier chapitre est consacré à la présentation de la zone d'étude (le bassin versant de l'Oued Rhiou)
- Dans le second, on a présenté le barrage de Gargar (la wilaya de Relizane) , l'envasement de ce dernier et les propositions d'aménagement
- Le troisième chapitre a fait l'objet de l'étude morphométrique du bassin versant de l'Oued Rhiou
- On a traité, dans le dernier chapitre, l'estimation de l'érosion hydrique par l'application de l'équation universelle de pertes en sol (USLE) de bassin versant de l'Oued Rhiou, établissement de la carte des risques, l'envasement du barrage et les propositions d'aménagement

Enfin une conclusion générale a été déduite suite aux résultats de notre étude du barrage de Gargar.

CHAPITRE I

Contexte physique du bassin versant de l'Oued Rhiou

Introduction :

L'étude de contexte physique du bassin versant comprend plusieurs points ; la situation géographique , la géologie du bassin et l'étude de sol et leur occupation notamment l'étude socio-économique .

Chapitre I- Contexte physique :

I.1. Situation géographique de bassin versant de l'Oued Rhiou (figure n° 1) :

Le bassin versant de l'Oued Rhiou est situé dans le Nord-Ouest algérien, à 250 km d'Alger, et à 45 km de centre de Relizane.

Il fait partie de bassin hydrographique de Chelif zahrez, situé à l'ouest de massif de l'Ouarsenis dans le domaine de l'Atlas Tellien. Limité au nord par les plaines de Chlef (wilaya de Chlef) , au sud par les plaines de Tiaret (wilaya de Tiaret) , à l'ouest par le massif de Dahra (Mazouna) , et à l'est par le massif de l'Ouarsenis.(figure n° 1)

Le bassin versant de Oued Rhiou est composé de trois principaux oueds : Oued Rhiou qui est l'oued principal, Oued Tleta et Oued Senseig , en aval.

Le barrage de Gargar appartient au bassin hydrographique de Chellif Zahrez , classé troisième après ceux de Beni Haroun (998 millions de m³) et Koudiat Acerdoune (650 million de m³) , avec une capacité de 450 millions de m³.

Il est considéré parmi les barrages les plus exposés au phénomène de l'envasement(Remini , 2014) , le bassin de l'Oued Rhiou englobe 10 communes de la wilaya de Relizane : Ain tarek , El Hassi , El Oueldja , Had Echkalla , Lahlef , Oued Rhiou , Oueld Yaich , Ramka et Souk el Had.

Il couvre une superficie totale de 770km² dont les coordonnées géographiques sont les suivantes :

Les altitudes 35°37'27'' et 35°58'20'', et les longitudes 0°55'43'' et 1°17'12''.

CHAPITRE I . Contexte physique du bassin versant de l'Oued Rhiou

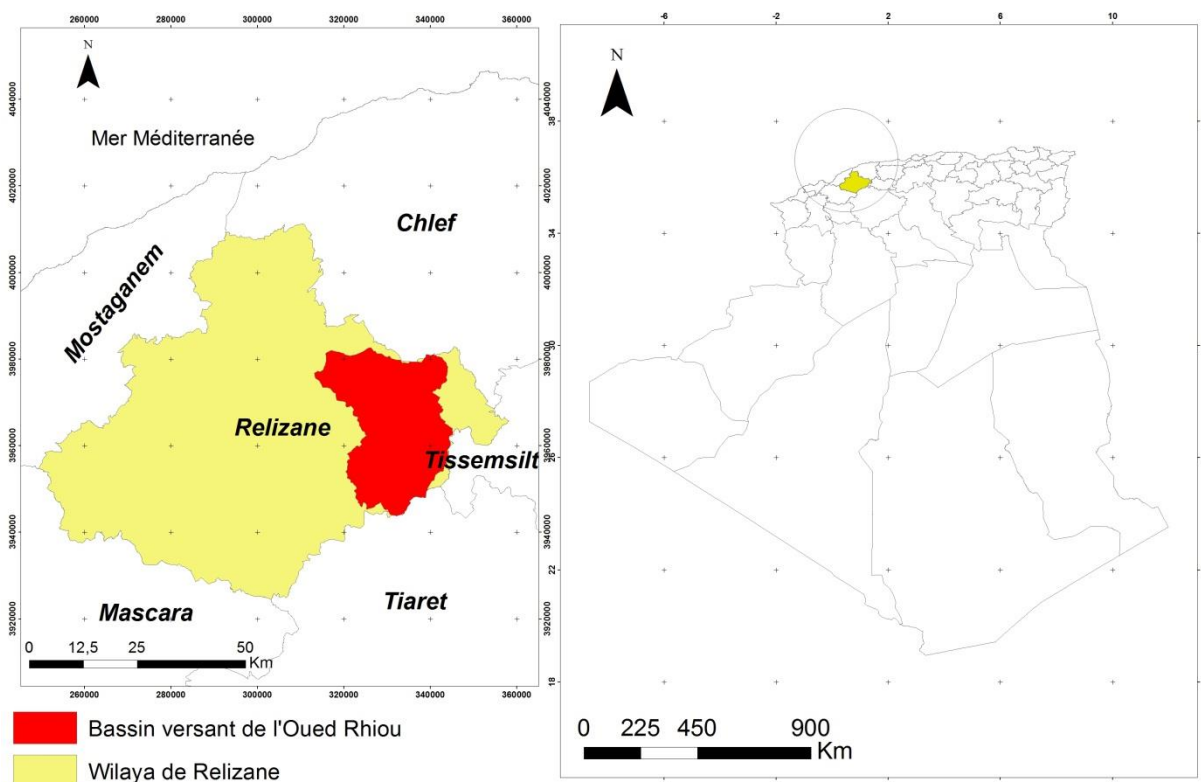


Figure n° 1 : Carte de situation de bassin versant de l'Oued Rhiou

I.2. Le relief :

Le terrain d'étude présente un relief vallonné, les pentes sont parfois fortes, la valeur moyenne des pentes est de 12,5 °. (Tableau n°1 et figure n° 2).

Dans le bassin versant de l'Oued Rhiou la classe de pente de 12.5 à 25° est la classe la plus répandue.

Tableau n° 1 : Classes des pentes de bassin versant de l'Oued Rhiou

Classe de pente (°)	Superficie (Ha)	Taux (%)
0 – 6.5	9108	11.82
6.5 – 12.5	14836	19.26
12.5 – 25	34654	45
25 – 100	18229	23.67
Totale	77000	100

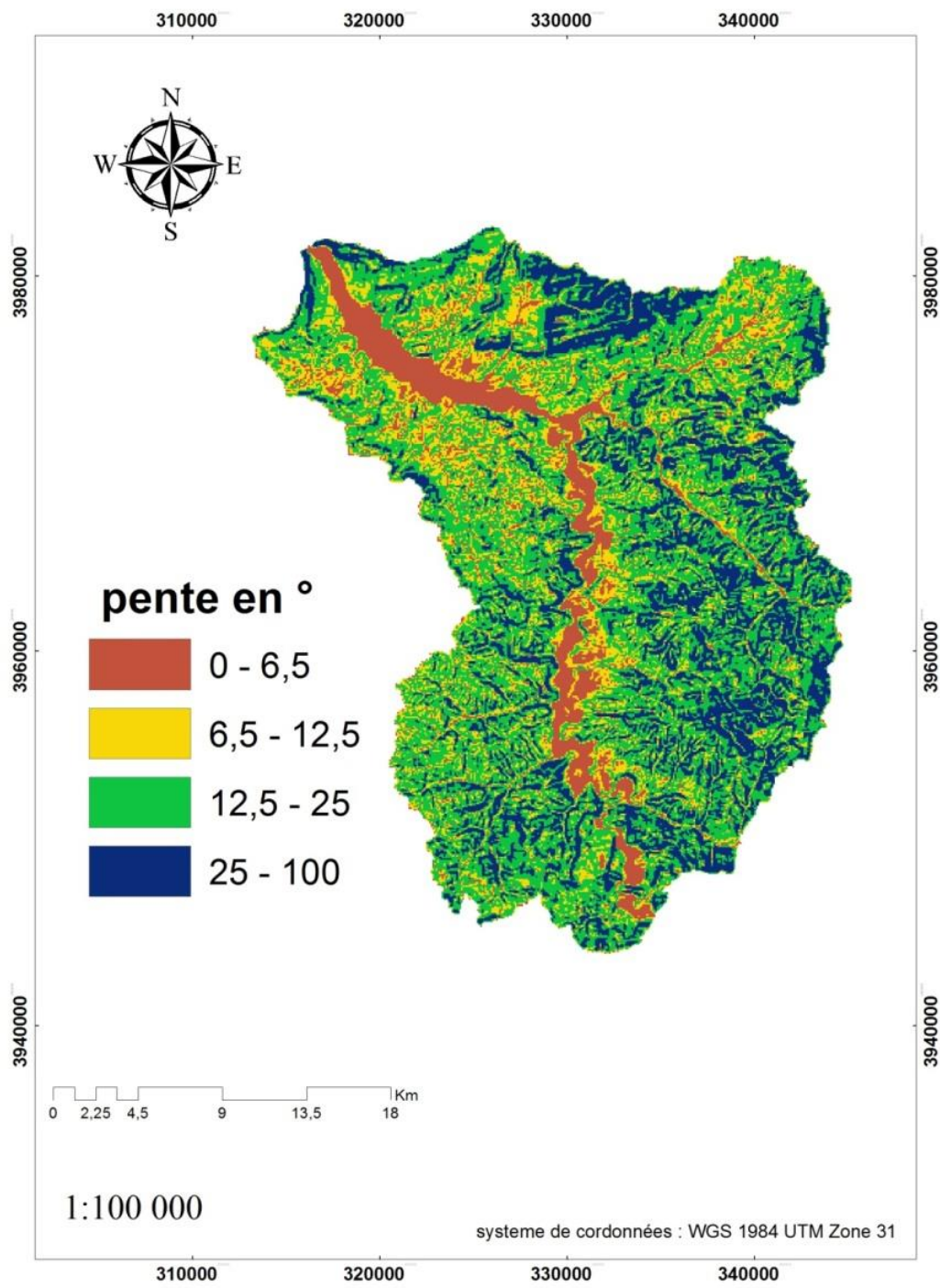


Figure n° 2 : Carte des pentes de bassin versant de l'Oued Rhiou

I.3. La géologie du bassin : (figure n°3)

La région Nord-Ouest du bassin versant de l'Oued Rhiou est constituée par la Miocène, essentiellement marneux. La zone d'étude est constituée par des terrains autochtones peu répandus caractérisés par une tectonique de style relativement simple (plis, anticlinaux).

Ce sont des formations à faciès marneux argileux schisteux, qui sont particulièrement vulnérables aux processus érosifs, en absence d'un couvert végétal protecteur marqué par le deuxième et le troisième et la quatrième ère géologique :

Durant le deuxième ère géologique, c'est un groupe d'époques géologiques successives :

I .3.1 : La deuxième ère :

- **Trias :**

Il s'est formé dans les roches de chaux blanc-rose qui apparaissent sous la forme de couches séparées et déconnectées entre elles et apparaissent dans la région de Chwala (Ammi Moussa).

Ces roches sont une source importante de sels dissous qui sont transportés par les petites cours d' eau dans les pentes .

- **Jurassique :**

formations de la période jurassique, qui sont constituées de roches calcaires situées au-dessus de la marne, on les observe dans la commune d' et El Hassi et aux limites est du bassin .

- **Crétacé :**

Cette époque a connu la tyrannie de la mer, qui a conduit à la création d'importantes dépressions au site actuel de la colline, formant des bassins dans lesquels des sédiments de grande épaisseur se sont accumulés, et cette source est caractérisée par l'alternance de calcaire et du marne, Les roches du Crétacé font partie des roches prédominantes du bassin, et nous les divisons selon leur chronologie en :

- **Crétacé inférieur :**

Il se distingue par des groupes équilibrés de roches de gypse marneux facilement reconnaissables et d'apparence blanche, visibles sur

CHAPITRE I . Contexte physique du bassin versant de l'Oued Rhiou

le côté ouest de la commune d'Ain Tarek et sur le côté est de la commune d'Ammi moussa.

-Crétacé moyen :

Il se distingue par les rochers de marne que l'on observe dans la plupart des communes du bassin .

-Crétacé supérieur :

Les formations de cette époque apparaissent dans de nombreuses zones du bassin, et nous les disposons de bas en haut:

Au fond il se caractérise par une chaîne marneux et parfois alternée avec du gypse dur.

Au sommet se trouvent les roches marneux, qui sont des formations peu résistantes à l'érosion et apparaissent à Jbel Oulad Bouriah, dans la commune d'Ain Tarek, et parfois la hauteur de ces formations dépasse 200 mètres, comme celles trouvées dans la zone de Sidi Amara de la commune d'Oueld Yaich .

I.3.2 troisième ère géologique :

Le troisième temps géologique s'étend sur plusieurs époques successives:

- **L'éocène :**

Une structure constituée de chaux lithothamnium, qui est une chaux fragile et quelque peu fertile en raison de l'érosion à laquelle les roches mères ont été exposées au même endroit, qui à son tour est divisée en :

- **Paléocène :**

Il est dominé par des roches de marne noire et parfois du quartz, il apparaît dans la région d'El Ehekala au sud-est d'Ammi Moussa.

- **L'éocène supérieur :**

Il s'agit de la dernière série des formations paléocènes, qui sont généralement des roches marinides. elles se trouvent sur le mont Bachto dans la commune d'Ain Tarek et la commune de Had El echkala .

- **Oligocène :**

Des roches s'y sont formées à la suite des sédiments argileux et du sable rouge du gravier et du calcaire des hauts plateaux.

- **Miocène :**

Cette époque connu un mouvement tectonique dans lequel de nombreuses formations sédimentaires anciennes ont été déformées.

I.3. 3 Le quatrième ère géologique :

Cet âge se caractérise notamment par les sédiments qui apparaissent au cours de l'Oued Rhiou et de part et d'autre de celui-ci, où lorsque sa vitesse diminue, soit en raison du manque d'eau, soit en raison du degré décroissant de pente par rapport au lit de l'oued , une partie de la charge dépasse sa capacité de transport puis elle se dépose, la vallée commence à déposer les plus gros matériaux dès que sa vitesse commence à diminuer, sa charge dépose des roches, puis des petits cailloux, du sable et du limon .

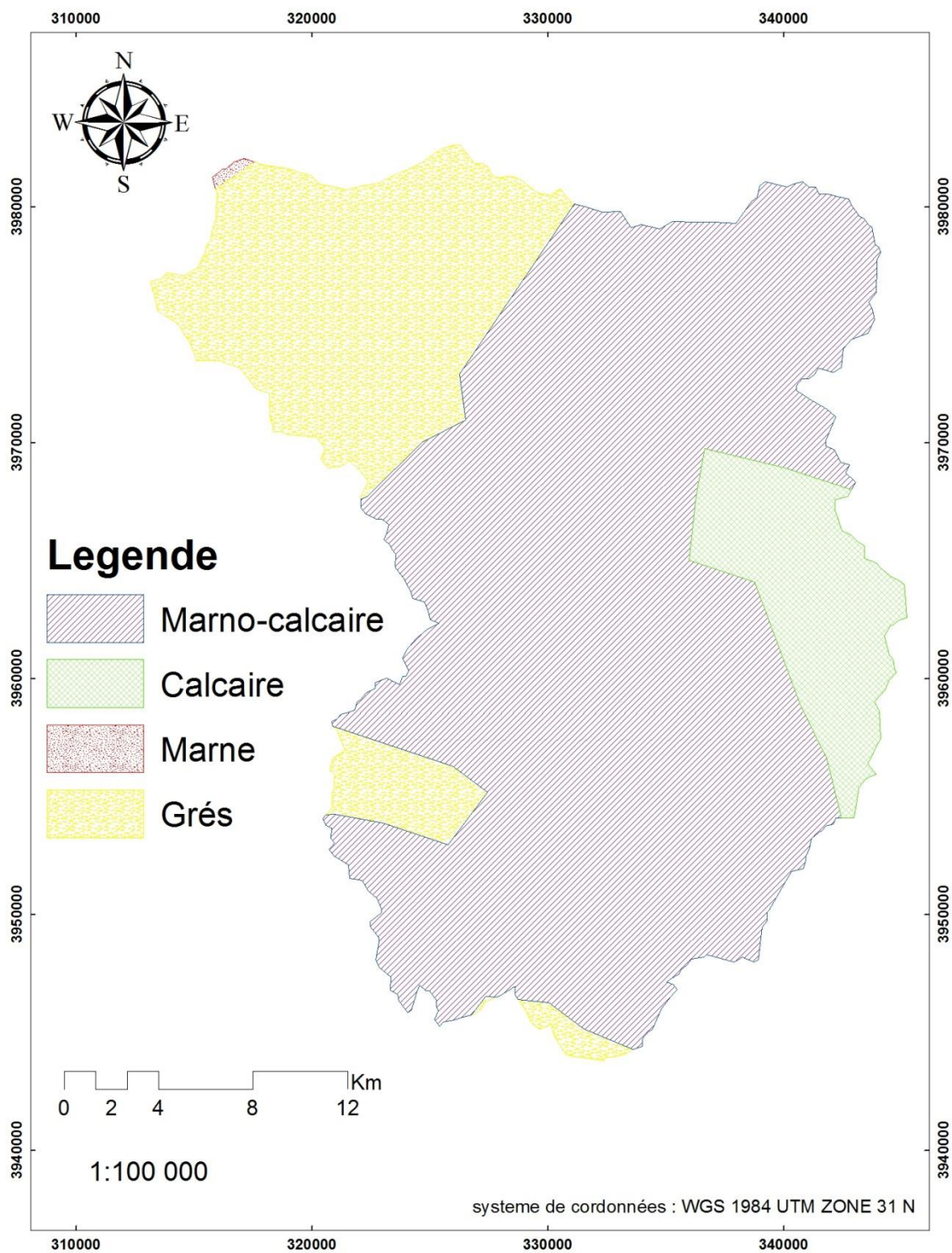


Figure n° 3 : Carte géologique de bassin versant de l'Oued Rhiou

I.4. Le sol :

Selon l'étude de (Kaci et Habi et Morsli, 2017). Les principaux types de sols dégagés dans le bassin versant de l'Oued Rhiou sont les sols minéraux bruts d'érosion lithiques, régosoliques, les sols peu évolués d'érosion et des rendzines humifères riche en calcaire actif.

C'est une zone à protéger par une reforestation d'espèces sylvicoles qui répondent aux conditions édaphiques et pédologiques.

Le sapement latéral des berges, qui est très important, constitue une contrainte, par conséquent, il est urgent de stabiliser les berges.

Cinq types de sols se distinguent : salés, hydromorphes, vertiques, peu évolués d'apport alluvial ou colluvial, calcimagnésiques.

Sur les versants et les sommets, les sols sont souvent très érodés, aussi bien sur les calcaires que sur les marnes. Lorsque la roche n'affleure pas, les sols sont généralement calcimagnésiques, le plus souvent rendziniformes, avec parfois la présence d'une croûte calcaire.

I.5. L'occupation de sol (figure n°10) :

Les différents types d'occupation du sol présents dans la zone d'étude sont représentés dans le tableau n°2 :

Tableau n °2 . L'occupation de sol de bassin versant de l'Oued Rhiou

Occupation	Superficie (Ha)	Taux (%)
Foret	4196	5.22
Maquis	12259	15.25
Cultures annuelles	41425	51.52
Arboriculture	10	0.01
Parcours	11746	14.61
Terres incultes	7861	9.78
Zones irriguées	2908	3.62
Total	80 405	100

Source : DPAT

Il ressort que plus de la moitié des terrains sont occupés par les cultures annuelles (avec 51,52% de la surface totale), suivies par les maquis et les parcours avec respectivement 15,25% et 14,61% de la surface.

I.5.1 Forêts :

Les formations forestières dans le bassin versant de l'Oued Rhiou sont constituées essentiellement de peuplements de Pin d'Alep et Eucalyptus (figure n°4) localisés essentiellement dans la partie amont du bassin. Sa partie aval présente un couvert végétal très dégradé et parfois même totalement nu.



Figure n° 4 : Partie amont de bassin versant de l'Oued Rhiou (2017)

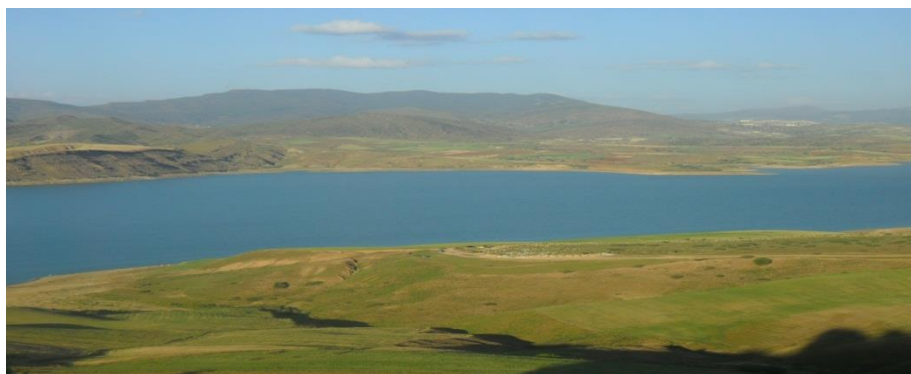
I.5.2 L'agriculture :

L'agriculture est pratiquée sur les deux rives du lac en raison de la fertilité du sol (figure n°5, n°6, n°7) elle concerne essentiellement :

- les cultures maraichères irriguées (melon, pastèque, artichaut...), elles sont cultivées dans les périmètres irrigués et se concentrent au bord des lits d'oued.
- les cultures céréalières en sec.

L'arboriculture joue un rôle efficace contre les agents de la dégradation du sol. Dans la zone d'étude elle ne bénéficie pas d'une superficie important vu que les plantations sont dispersées autour des exploitations et ne sont pas bien entretenues, elle concerne principalement la culture d'olivier.

CHAPITRE I . Contexte physique du bassin versant de l'Oued Rhiou



**Figure n°5, n°6 , n°7 : Les pratiques de l'agriculture dans le bassin versant
(par Bourzak Adel , 2021)**



Figure n° 8 : Champ d'olivier dans le bassin versant de l'Oued Rhiou (par Asnoui)

I.5.3 les parcours :

Ces parcours sont utilisés pour l'élevage des animaux, dans un système extensif de culture, constitue un élément essentiel de l'activité agricole de la région du bassin versant de l'Oued Rhiou , L'élevage au niveau de la région est composé des bovins, ovins, caprins et d'apiculture (figure n° 9).



Figure n°9 : les parcours de l'élevage des animaux dans le bassin versant

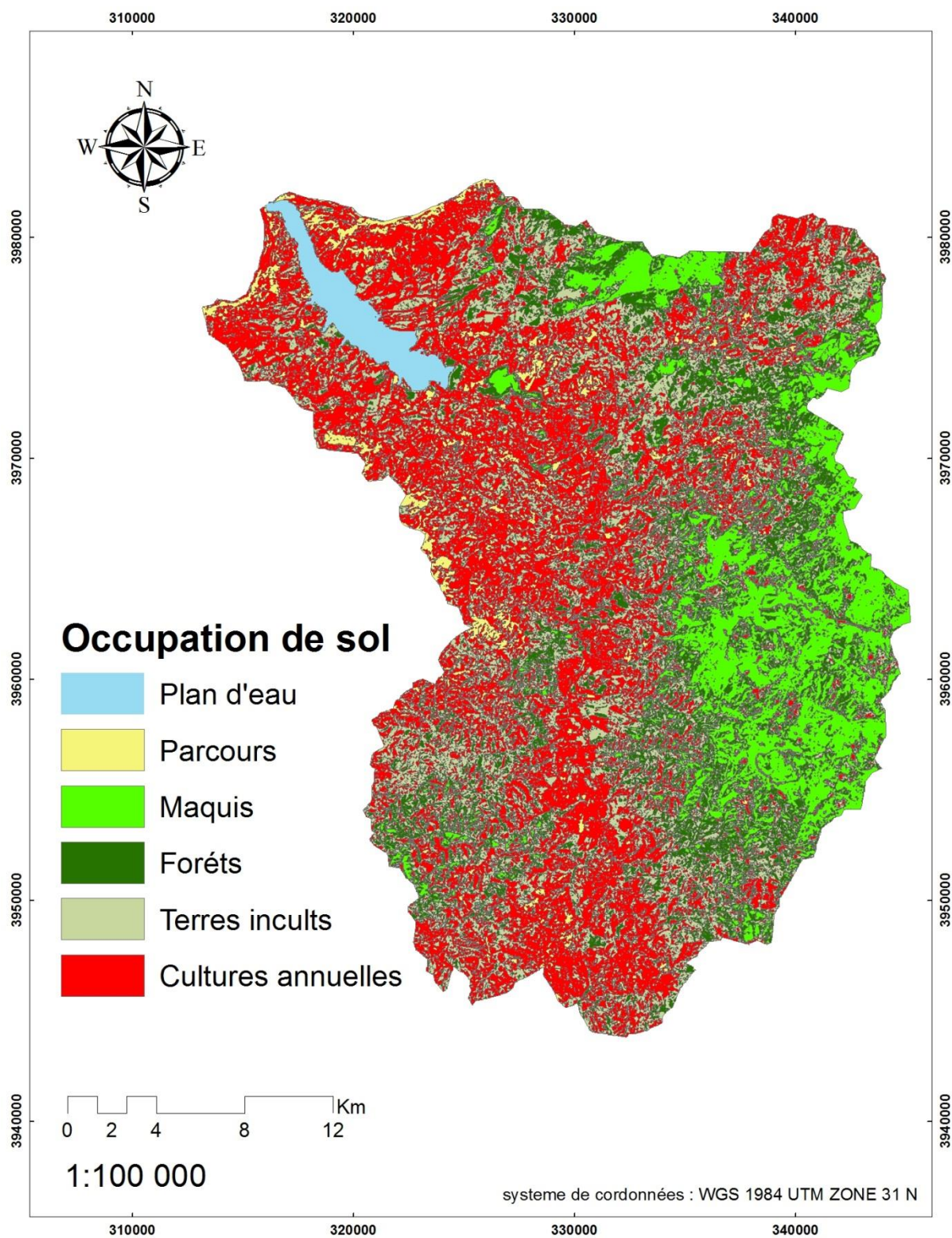


Figure n°10 : Occupation de sol de bassin versant de l'Oued Rhiou

I.6 Le climat

Le climat méditerranéen est un climat de transition entre la zone tropicale avec un été très sec et celui des régions tempérées en bordure de la mer seulement, l'hiver est très frais et plus humide , caractérisé par une saison sèche et chaude coïncidant avec la saison estivale, et une saison froide et pluvieuse qui coïncide avec la saison hivernale.

En Algérie, la pluviométrie peut être soumise à l'orographie et aux influences maritimes, en effet, tous les auteurs qui ont étudié la pluviométrie en Algérie ont montré que la répartition de la pluie subit quatre influences. Il s'agit de l'altitude, les conditions topographiques, de la longitude et enfin celle de l'éloignement de la mer ce qui lui confère un climat régional de type méditerranéen.

I .6.1. Les paramètres climatiques :

L'étude climatique a été réalisée par l'exploitation des données (précipitations et températures) de la station météorologique de Ammi moussa, située à 160 m d'altitude, vu la disponibilité des données sur une longue période de 36 ans allant de 1980 à 2016.

- **Les précipitations :**

L'analyse des données moyennes mensuelles des précipitations de la zone d'étude montre que le mois le plus sec est Juillet avec 3.2 mm et la période pluvieuse s'étale de Novembre à Mai, avec un maximum en Février avec 56.3 mm. (Tableau n°3 et figure n° 11)

Tableau n°3 . Moyennes mensuelles des précipitations de la station d'Ammi Moussa (1980-2016)

Mois	Jan	Fev	Mar	Av	Mai	Jui	Juil	Aou	Sep	Oc	Nov	Dec	Ann
Moy mm	49.5	56.3	48.5	45	32.5	10.7	3.2	7	20.5	34	46	47.5	400.7

Source : fr.weatherspark

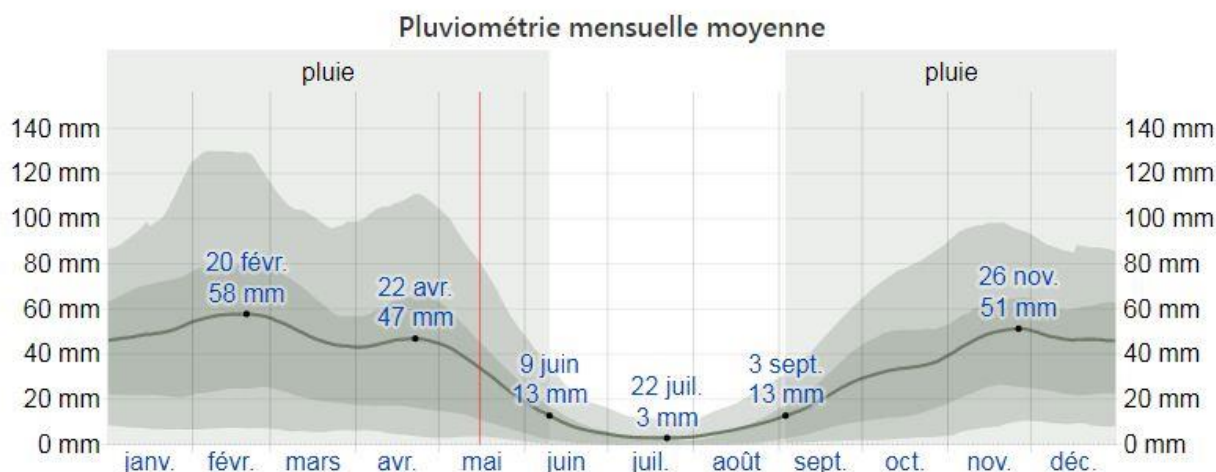


Figure n°11 : Courbe des précipitations moyennes mensuelles pour la station d'Ammi Moussa (1980-2016)

Le tableau n°4 de variations saisonnières des précipitations indique que le régime saisonnier pour la zone d'étude est de type HPAE:

Tableau n°4 . Variations saisonnières des précipitations

	Hiver	Printemps	Été	Automne	Type
Station Ammi moussa	153.3	126	20.9	100.5	HPAE

Dans la région méditerranéenne, il est connu que le pourcentage des pluies estivales (juin, juillet, août) dues essentiellement à des orages, varie peu tout en restant faible. Pour notre station et par rapport au total annuel, ce pourcentage est en moyenne de 3%.

D'après Djebaili (1984), sur le plan écologique, ceci se traduit par des conditions de sécheresse très sévère.

Pendant la saison pluvieuse (mars, avril, mai), le pourcentage de pluie est plus élevé. Il représente en moyenne plus de 39% des précipitations annuelles.

• **Températures :**

La température joue un rôle important dans la dynamique d'érosion hydrique, d'une manière indirecte, sur la phénologie des plantes ; donc sur la présence ou l'absence de la végétation.

Principalement par deux paramètres, la température minimale du mois le plus froid et la température maximale du mois le plus chaud. Le tableau n°5 présente ces différentes observations ainsi que la température moyenne au niveau de la station d'Ammi Moussa pour la période 1980– 2016.

Tableau n°5.Températures mensuelles de la station d'Ammi Moussa (1980– 2016)

Mois	Jan	fev	mar	av	mai	jui	juill	aou	sep	oc	nov	dec
M	15.5	17	20.25	23.5	28	34	38.25	37.5	33	27	20.75	16.25
M	5.75	6.3	7.5	10.5	14.25	19	22.25	22.25	19.25	15	10.25	7
(m+M)/2	10.66	11.65	13.88	17	21.13	26.5	30.25	29.88	26.13	21	15.5	11.66
M-m	9.75	10.7	12.75	13	13.75	15	15.95	15.25	13.75	12	10.5	9.25

Source : fr.weatherspark

M : Moyenne des températures maximales du mois (°C)

m: Moyenne des températures minimales du mois (°C)

CHAPITRE I . Contexte physique du bassin versant de l'Oued Rhiou

Selon le tableau n°5, nous remarquons que la température moyenne mensuelle présente un minimum de l'ordre 6.3°C en février et un maximum de l'ordre de 38.25 C ° en juillet.

Le tableau n°6 indique que notre zone est de type semi continental en fonction de l'amplitude thermique

Tableau n°6 : Type de climats en fonction des Amplitudes thermiques

Amplitudes thermiques (M-m)	type de climat
$M-m \leq 15 \text{ °C}$	Climat insulaire
$15 < M-m < 25 \text{ °C}$	Climat littoral
$25 < M-m \leq 35 \text{ °C}$	Climat semi-continental
$M-m > 35 \text{ °C}$	Climat continental

Où : **M** : la moyenne des températures maximales du mois le plus chaud en °C.

m: la moyenne des températures minimales du mois le plus froid en °C.

Selon la classification de Debrach (1953), la station de Ammi Moussa se caractérise par un climat semi-continental (**semi-aride ; M-m =31.95°C**).

D'après le tableau n°7 qui représente la variation de quantité moyenne mensuelle d'eau évaporée (en fonction du mois), on constate que l'évaporation elle est importante du mois d'Avril à Octobre. Elle atteint le maximum **296,2mm** durant le mois de Juillet, avec une évaporation annuel de **1812.2mm**.

Tableau n°7 . Evaporation moyenne mensuelle (1980 – 2016)

Mois	jan	fev	mar	avr	Mai	jui	Juil	aou	Sep	oc	Nov	dec
Evaporation (mm)	49.6	67.6	97.6	126.2	181.4	290.4	296.2	268.2	185.4	128.2	66.2	55.2

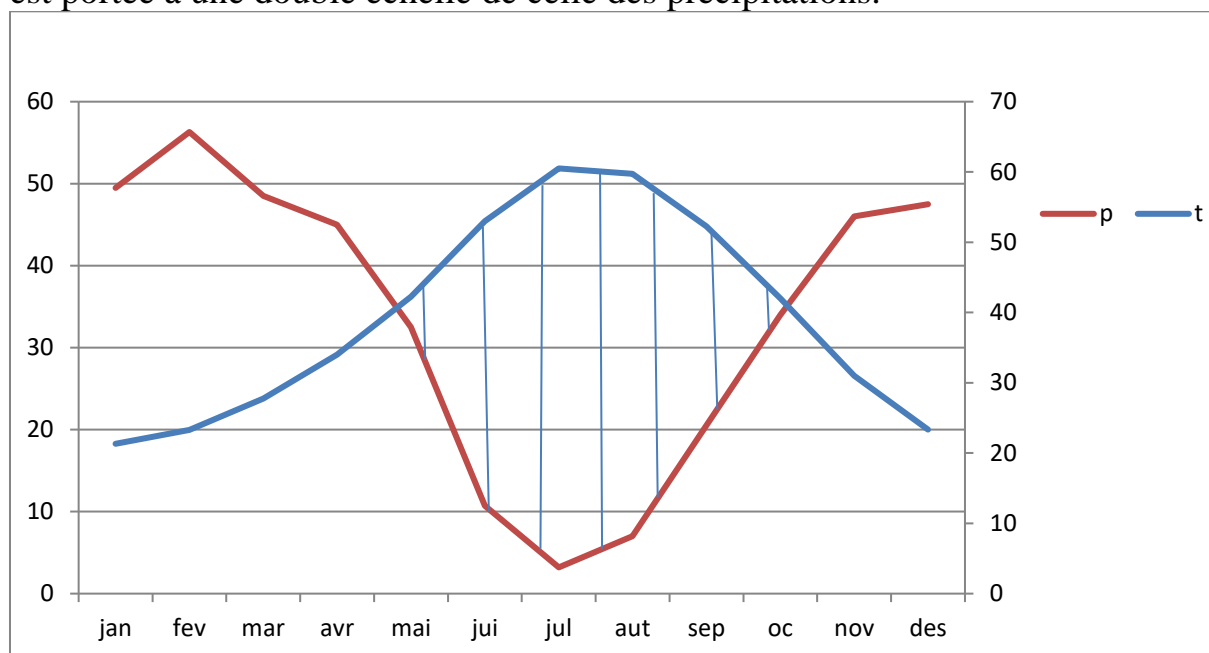
Source : fr.weatherspark

I.6.2 Synthèse bioclimatique

- **Diagramme Ombrothermique de Bagnouls et Gausсен :**

La représentation de ce diagramme (figure n°12) consiste à porter sur le même graphique les variations des températures et les précipitations portées sur deux axes parallèles en fonction du temps, dont l'échelle est " 2 mm = 1°C " de pluie ($P \leq 2T$).

Bagnouls et Gausсен (1953), considèrent un mois sec est celui où le total mensuel des précipitations (mm) est inférieur ou égal à deux fois la valeur de température moyenne mensuelle. Cette relation permet d'établir des diagrammes pluviothermiques sur lesquels la température est portée à une double échelle de celle des précipitations.



**Figure n°12 : Diagramme Ombrothermique de Bagnouls et Gausсен
Station de Ammi moussa (1980-2016)**

On constate que la période sèche (zone rayé) s'étale sur une période de 6 mois, du début d'Avril jusqu'au la fin d'Octobre. La période pluvieuse s'étale du mois de Novembre jusqu'à mois de Mars

- **Le Quotient pluviothermique d'Emberger (1955) :**

Emberger (1955), en s'intéressant aux extrêmes thermiques M et m entre les quelles se déroule la période végétative et qui peuvent constituer des seuils écologiques pour les différentes espèces végétales, a défini la relation suivante :

$$Q2 = 1000 P / (M+m) / 2 (M-m)$$

Q2= Quotient pluviométrique annuelle en mm

P = Moyenne des précipitations annuelles en mm

M= Moyenne des Maximas du mois le plus chaud en °K

m= Moyenne des minimas du mois le plus froid en ° K

La valeur du quotient d'Emberger calculée pour la station d'Ammi moussa :

Q2= 28.42, permet de situer la station dans l'étage bioclimatique aride supérieur à hiver tempéré.

- **L'Indice de Fournier (FI) :**

L'Indice de Fournier (FI) est mis au point par Fournier en 1960, en vue d'établir une corrélation avec les charges de sédiments dans les rivières des bassins de grande taille.

Cet indice représentant l'agressivité des pluies a été utilisé dans de nombreuses régions du monde pour estimer les pertes en sol et dans les projets d'aménagement (Meddi, (1992) ; Ferro et al, (1999). Il est exprimé par la formule :

$$\mathbf{FI=Pmax^2 / P(mm)}$$

Où : P max est la moyenne des précipitations mensuelles (mm) du mois le plus et P est la quantité de pluie annuelle moyenne (mm).

Cependant, cet indice en tant qu'estimateur de l'érosivité de la pluie comprend certaines imperfections. En effet, les quantités faibles des précipitations ont également un pouvoir érosif. L'augmentation des quantités totales des précipitations entraînerait un accroissement de l'érosivité. Il n'est pas logique que si la pluviométrie mensuelle maximale Pmax reste la même avec l'augmentation de la pluviométrie moyenne annuelle P, l'indice de Fournier (FI) diminue.

La valeur de l'indice de Fournier est égale à 7.91.

- **L'Indice de Fournier modifié (MFI) :**

Arnoldus (1980) a modifié le FI pour donner un indice modifié de Fournier (MFI) qui prend en considération les quantités de précipitations de tous les mois de l'année. Il a obtenu des résultats satisfaisants pour 164 stations aux États-Unis et pour 14 stations en Afrique de l'Ouest. Gabriels (2006), Meddi (2015). Cet indice proposé s'exprime comme suit :

$$\mathbf{MFI=\Sigma p^2 / P (mm)}$$

Où p est la précipitation mensuelle (mm), et P est la précipitation annuelle (mm).

Le MFI a été calculé à partir de la moyenne mensuelle et la moyenne annuelle de précipitations de chaque station. Sa valeur est égale à

42.64 et qui décrit notre zone dans la classe de très faible (tableau n°8).

Dans l'étude du transport solide dans treize (13) bassins- versants du nord-ouest algérien, Meddi (2013) a montré la prédominance de l'indice de Fournier modifié (MFI), par rapport à d'autres indices, dans la représentation de l'agressivité des pluies.

Pour pallier aux manques de données nécessaires au calcul du coefficient R de l'équation universelle, des chercheurs ont développé des formules empiriques liant le coefficient R à l'indice de Fournier modifié pour estimer les pertes en terre.

Cet indice a été largement utilisé dans les modèles d'estimation du facteur R de l'équation universelle USLE et RUSLE, bien que le MFI donne une mesure adéquate de la variabilité des précipitations, il ne tient pas en compte de l'aridité du climat, et donc la probabilité de tempêtes intenses de courte période au cours des saisons sèches.

Tableau n° 8. Classification de MFI.

Classe MFI	Description
< 60	Très faible
60-90	Faible
90-120	Modérée
120-160	forte
>160	Très forte

• CONCLUSION

Cette synthèse met en évidence les différentes caractéristiques du climat méditerranéen. En effet ce dernier est caractérisé par un hiver modéré et un été relativement sec et chaud.

Cette différence chronologique entre l'alimentation en eau par les précipitations et la température est responsable de la période sèche de ce type de climat.

Ce caractère xérothermique, ce qui signifie long et sec (Faye, 1963), est considéré comme un climat favorable à l'érosion hydrique en raison de la longue période sèche tout au long de l'année (en particulier avec la présence de marne sol dominant dans la zone d'étude) et par conséquent absence de la couverture végétale et les premières pluies qui tombent en automne après six mois de sécheresse, sur un sol pédologiquement sec, friable et de surcroît marneux (faible perméabilité et mauvaise stabilité structurale).

I. 7 L'étude socio-économique :

I.7.1 Population :

Le bassin versant de l'Oued Rhiou occupant une superficie totale de 770 km², englobe 10 communes de la wilaya de Relizane : Ain tarek , El Hassi , El Oueldja , Had Echkalla , Lahlef , Oued Rhiou , Oueld Yaich , Ramka et Souk El Had , il abrite une population de **195 079 habitants** selon le dernier recensement de la population (Agence nationale d'intermédiation et régulation foncier en 2018) (tableau n°9) .

Tableau n° 9. La population dans la zone d'étude en 2018

Commune	Population en 2018
Ain Tarek	13 122
Ammi Moussa	41 088
El Hassi	3188
El Oueldja	7458
Had Echkalla	7179
Lahlef	10973
Oued Rhiou	93690
Oueld Yaich	9518
Ramka	5514
Souk El Had	3349
TOTAL	195 079

Source : *Agence nationale d'intermédiation et régulation foncier 2018*

I.7.2 Économie :

L'activité économique de la population dans la zone d'étude est basée surtout sur l'agriculture et son corollaire l'élevage.

Le bassin versant de l'Oued Rhiou recèle des potentialités hydriques importantes à savoir le barrage de Gargar qui constitue un espace favorable pour le développement, d'une part, une agriculture irriguée et d'autre part de la pêche continentale, intéressante et rentable qui pourraient prendre progressivement une dimension extraordinaire au sein de l'environnement social des populations surtout des communes à proximités de ces plans d'eau.

CHAPITRE I . Contexte physique du bassin versant de l'Oued Rhiou

Malgré le potentiel hydrique de la région et sa situation à côté de deux wilayas importants (Chlef et Tiaret), l'activité économique resté limitée en raison de plusieurs Contraintes, notamment:

- Wilaya faisant partie de l'aire de précarité de l'Algérie.
- Concurrence importante entre Relizane et Oued Rhiou.
- Solde migratoire net négatif depuis les 30 dernières années.
- Dégradation des périmètres irrigués du Bas Cheliff ;
- Envasement de l'infrastructure hydraulique (barrage de Gargar) .
- Érosion des bassin versant de l'Oued Rhiou .
- Problème de traitement des rejets des eaux usées dans la région.
- Faible affectation de la ressource en eau au secteur agricole.

Conclusion :

Cette étude de contexte physique nous a incité a présenter le barrage de Gargar , qui est situé en aval de bassin versant de l'Oued Rhiou , menacé par le phénoeme d'envasement ou les apports solide vient d'amont de bassin .

CHAPITRE II

Présentation du barrage de Gargar (wilaya de Relizane)

II.1Présentation du barrage de Gargar (figure n°13)

Fort d'une capacité de 450 millions de m³, le barrage de Gargar est classé troisième après ceux de Beni Haroun (998 millions de m³) et Koudiat Acerdoune (650 million de m³).

Il est situé à 350 km à l'ouest d'Alger. Il appartient au bassin hydrographique de Chellif Zahrez, dont les barrages sont les plus exposés au phénomène de l'envasement (Remini, 2009).

Le barrage est situé à 350 km à l'ouest d'Alger, dans la wilaya de Relizane à 5 km au sud-ouest de la ville de l'Oued Rhiou et à 3 km en amont de la route nationale n° 04, le barrage de Gargar est en terre zoné avec un noyau central vertical en silt argileux. Sa hauteur est de 90 m, la longueur de la crête est de 400 m et sa largeur est de 10 m.

La crête du barrage se trouve à la cote 130 m, le niveau normal de la retenue du barrage est de 118 m, peut stocker un volume de 450 Hm³. Depuis sa mise en eau en 1988, le barrage a perdu un volume de stockage plus de 150 Hm³ de sa capacité initiale (figure n°14).

La retenue servira essentiellement aux besoins en eau d'irrigation de 16000 HA dans la plaine du bas-Chélif et l'alimentation en eau potable de la ville d'Oran de 22 Hm³ / an et Relizane.

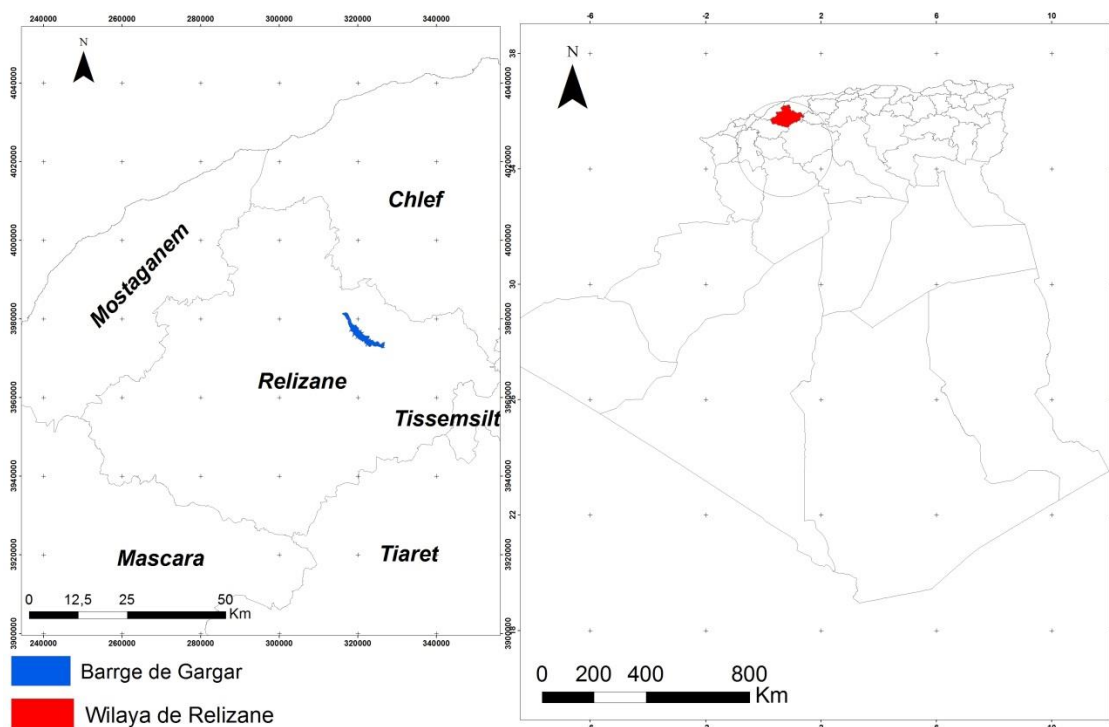


Figure n°13 : Localisation de barrage de Gargar

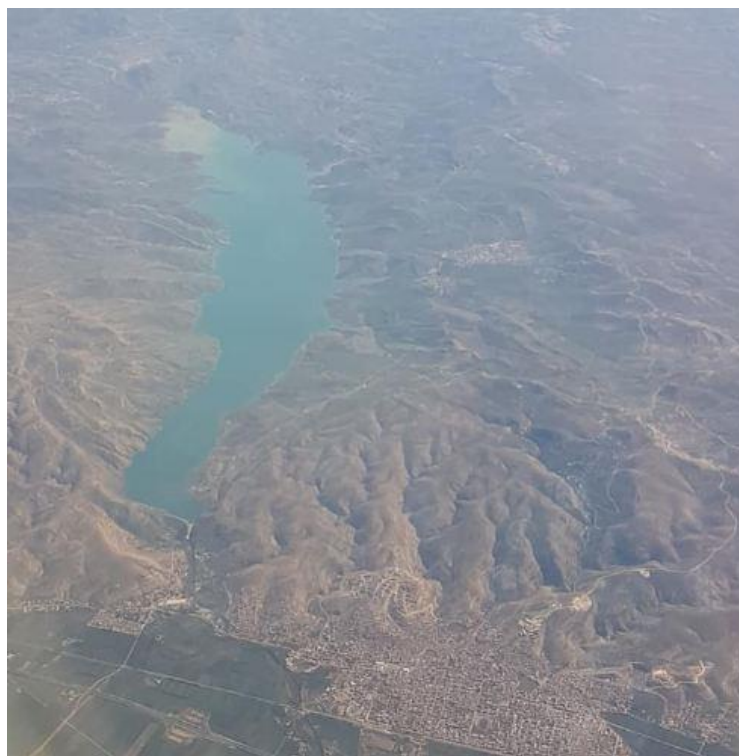


Figure n°14 : Photo aérienne de barrage de Gargar (par Kader Benali 2020)

II .1.1 Histoire De l'ouvrage :

La première des campagnes de reconnaissance envisageant la construction d'un barrage dans l'Oued Rhiou, a été effectuée en 1926 et a été suivie par d'autres Campagnes (1929, 1932, 1967 etc...).

Dans la phase de recherches préliminaires, trois sites d'emplacement ont fait l'objet d'études, ayant été choisi le site où le barrage a été construit dans la zone des gorges du GARGAR.

En 1980, la Direction Générale des Infrastructures Hydrauliques (DGIH) a confié à l'entreprise W.S. ATKINS INTERNATIONAL, D'Angleterre la définition des variantes (Mission 1), l'étude des variantes (Mission 2), l'élaboration de l'avant-projet détaillé et du dossier d'appel d'offres (Mission 3) et encore, l'essai hydraulique sur modèle réduit de l'évacuateur de crues. De nombreux rapports et documents ont été soumis par les consultants pendant les études de l'avant-projet détaillé dont la Mémoire de synthèse est datée de septembre 1982.

Par l'Ordre de Service du 31/12/1983, le marché ayant pour objet la construction et l'équipement hydromécanique et électromécanique du barrage du GARGAR a été confié au groupement des entreprises HAZAMA – GUMI, LTD et C. ITOH et CO. LTD du JAPON.

CHAPITRE II . Présentation du barrage de Gargar (wilaya de Relizane)

A la suite d'un Ordre de Service du 07/07/1984, les études d'exécution ont été faites par HARZA ENGINEERING COMPANY, des Etats-Unis d'Amérique.

-Par l'Ordre de Service du 02/01/1985, la surveillance des travaux a été confiée au bureau d'études COBA – Consultores para Obras – Barragens planeamento S.A. du Portugal.

- Début de travaux : Juin 1984
- Fin de travaux : 17 Octobre 1988
- Mise en eau : 22 Novembre 1988
- Réception provisoire : 06 Mars 1989
- Réception définitive : 16 Septembre 1990.

II.2 L'état du barrage de Gargar :

L'envasement des barrages est l'un des grands problèmes qui menace l'existence des ressources en eau en Algérie.

Suite à la forte érosion hydrique dans les bassins versants, des quantités considérables des sédiments sont drainées directement dans les retenues de barrages.

Ces dépôts posent des problèmes aux barrages, tel que la déstabilisation de la digue, la diminution du volume utile d'eau, l'obturation des pertuis de vidange et le colmatage des canaux d'irrigation.

Les pays de l'Afrique du nord comme l'Algérie, le Maroc, et la Tunisie, détiennent plus de 230 barrages d'une capacité totale de 23km³ Environ 125Hm³ de sédiments se déposent annuellement au fond de ces barrages, avec par ordre d'importance décroissante, le Maroc avec 65hm³ , l'Algérie avec 32hm³ et la Tunisie avec 25hm³ (Remini ,1997).

Parmi les problèmes que pose l'envasement des retenues de barrages, on peut retenir quatre inconvénients majeurs qui sont :

- La réduction de la capacité d'emmagasinement.
- L'obturation des organes de vidange.
- La remise en cause de la sécurité de l'ouvrage.
- L'envasement des canaux d'irrigation.

CHAPITRE II . Présentation du barrage de Gargar (wilaya de Relizane)

- La dégradation de la qualité de l'eau.
- L'obturation des pompes.

Une étude a été menée par l'Agence Nationale des Barrages et Transferts (ANBT) réalisé en 2004 et en 2018 basée sur les deux levés bathymétriques.

Le barrage a atteint en 2004 un taux d'envasement de 5.75 Hm3/An, avec une capacité totale de 358.278 Hm3/An barrage de Gargar et 5.55 Hm3/An en 2018, une capacité totale de 283.493 Hm3/An. (Tableau n°10)

Donc, nous pouvons affirmer que le barrage de Gargar était menacé par l'envasement à court et à moyen terme depuis ses premières années d'exploitation, avec un volume de 91.722 Hm3 de vase depuis 1988 jusqu'au 2004.

Tableau n°10 : Capacité et l'état d'envasement de barrage de Gargar

Barrage	Oued	Type de barrage	Année mise en service	Capacité initial Hm3	Capacité levé 2004	Capacité levé 2018	Volume globale de vase	Taux d'envasement %
Gargar	Rhiou	Terre	1988	450	358.278	283.493	166.502	37

Source : ANBT par l'agent BENREKHREKH habib

Suite à notre visite de terrain en 19/05/2021, le volume actuel de l'eau utile du barrage est de 96,809 Hm3, Ce volume est trois fois inférieur au dernier levé bathymétrique dans une période de 4 ans.

Cette forte baisse de volume importante peut être expliquée par, éventuellement, par la quantité d'eau consommée suite à la demande qui forcément a augmenté et aussi à une diminution des précipitations, mais aussi par le taux d'envasement très élevé qui menace chaque année la durée de vie de barrage.

II.3 Enjeux socio-économique de barrage de Gargar :

L'Algérie est un pays du sud du bassin méditerranéen à climat semi-aride. Il se place parmi les pays pauvres en matière de potentialités hydriques, les régions de l'Ouest algérien souffrent d'aridité, le bassin versant de l'Oued Rhiou fait partie, car en aval, se trouve le troisième plus grand barrage de pays, celui de Gargar , menacé par l'envasement à court terme.

Il est considéré comme une ressource en eau très importante dans la région (d'irrigation de 16000 HA dans la plaine du bas-Chélif et l'alimentation en eau potable de la ville d'Oran , Relizane de 22 Hm³ / an) .

Le tableau n°11 représente les quantités d'eau consommées du barrage de Gargar pendant 26ans depuis 1993 au 2018.

Tableau n°11. Volume d'eau consommé du Gargar (1993-2018)

Année hydrologique	Irrigation (hm ³)	AEP Oran (hm ³)	AEP Relizane (hm ³)	Transfert (MAO)	Evaporation (hm ³)
1993 – 1994	/	11 , 209	/	/	2,820
1994 – 1995	/	7,410	/	/	2,837
1995 – 1996	/	0,777	/	/	19,709
1996 – 1997	/	2,406	/	/	25,680
1997- 1998	/	6,963	/	/	31,705
1998 – 1999	/	42,331	/	/	31,395
1999 – 2000	/	82,889	/	/	29,447
2000 – 2001	/	62,615	/	/	28,341
2001- 2002	10,646	44,616	/	/	25,650
2002 – 2003	33,486	34,756	/	/	24,086
2003 – 2004	37,820	34,101	/	/	20,595
2004- 2005	/	37,406	/	/	14,844
2005 – 2006	/	24.573	/	/	12,457
2006 – 2007	/	20,829	/	/	13,778
2007 – 2008	/	29,093	/	/	11,608
2008- 2009	2,122	20,277	/	/	19,455
2009 – 2010	15,333	25,361	/	/	25,639
2010- 2011	20,360	22,752	7,167	/	27,317
2011- 2012	34,548	4,385	12,444	/	24,917
2012- 2013	38,112	5,117	12 ,410	/	26,379
2013 – 2014	47,469	3,389	8,030	/	29,746
2014- 2015	54,304	5,121	6,332	/	32,015
2015- 2016	61,108	4,994	7,378	14,269	27,179
2016- 2017	64,007	4,363	8,589	/	26,565
2017- 2018	47,139	10,264	7,508	20	19,869
TOTALE	460,45	512,22	57,448	34,269	554,03

Source : ANBT

CHAPITRE II . Présentation du barrage de Gargar (wilaya de Relizane)

Selon les données et sur 26ans d'exploitation d'eau du barrage de Gargar (absences des données de premières années) depuis 1993 , au 2018 (dernier levé bathymétrique) , la wilaya d'Oran a bénéficié d'un volume d'eau potable de 512,22 Hm³, avec une moyenne annuel près de 20 Hm³.

Il est considéré comme le réservoir qui alimente le plus, en eau potable, la wilaya d'Oran, Surtout à des moments où la wilaya n'était pas en mesure de répondre aux besoins en eau de la population en raison de la forte croissance démographique, d'après Boughazi s , 2018.

Une conduite de diamètre 1200 mm avec une longueur 83 km à partir du barrage Gargar à la station de traitement du Cheliff ainsi un système de dédoublement de la conduite de refoulement existante d'Ain El Bia (Oran) (ST1) vers le réservoir de Bir El Djir(Oran) avec une capacité de 150 000 m³/j .

L'importance du réservoir apparaît également dans le secteur de l'irrigation ou près de 460,45 Hm³ d'eau est destinée pour l'irrigation des terres cultivées.

Pendant la dernière décennie, le barrage alimentait la wilaya de Relizane en eau potable avec un volume de 57,448 Hm³ .

L'évaporation moyenne annuelle calculée sur vingt-six ans (1993-2018) sur le barrage exploité est de 21,30 Hm³, ce qui représente la même moyenne de volume consommé d'eau potable d'Oran ce qui confirme le caractère xérique de la région. (Figure n°15)

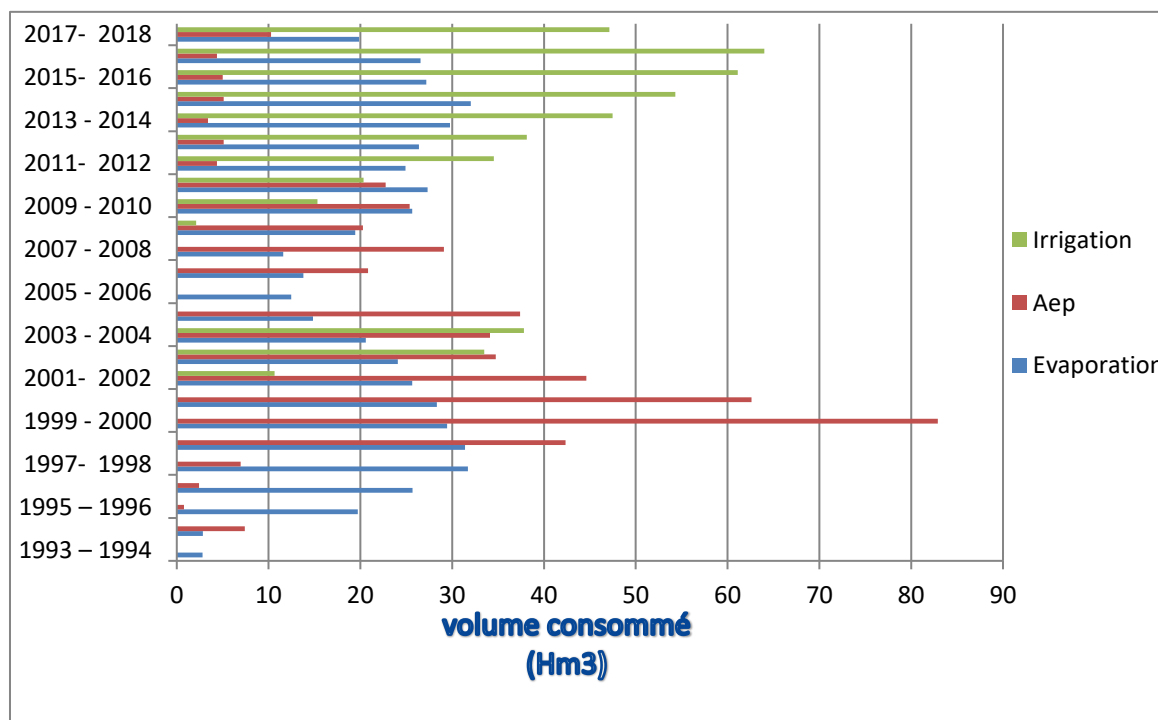


Figure n°15 : Volume d'eau consommé par l'irrigation, AEP et évaporation de Barrage de Gargar (1993-2018)

II.4 Estimation de la durée de vie de barrage de Gargar :

Sur la base de détermination de taux d'envasement de barrage de Gargar, nous avons abouti à l'estimation de la durée de vie de ce dernier, étant le rapport entre la capacité (levé bathymétrique de 2018) du barrage et son taux d'envasement, le résultat est comme suit :

$$T = W_{2018} / t$$

T : durée de vie de barrage (Ans)

W₂₀₁₈ : capacité au levé bathymétrique (2018) du barrage (Hm³)

t : taux d'envasement du barrage (Hm³/An)

Tableau n°12 . Estimation de la durée de vie de barrage de Gargar

Barrage	Anné mise en service	Capacité au levé (2018)(Hm ³)	Taux d'envasement (Hm ³ /An)	Durée de vie estimée (Ans)	Anné de perte de l'ouvrage (estimé par An)
Gargar	1988	283,493	5,55	51	2039

D'après l'estimation de la durée de vie de barrage de Gargar, le barrage se trouve amputé d'un volume de 96,809 millions de m³ en 33 ans d'exploitation suite à un envasement accéléré. Soit un taux d'envasement annuel égale à 5,5 Hm³/an.

Une valeur nettement supérieure au niveau normale, le barrage de Gargar serait abandonné en 2039 si des dispositions de dévasement ne seraient pas prises à court et à moyen terme.

II.5 Moyens de lutte contre le risque d'envasement :

En raison des conséquences engendrées par le phénomène d'érosion et du transport solide, il est impératif de prévoir d'une part, des moyens de lutte contre l'érosion à titre préventif en amont de la retenue sur l'étendue du bassin versant. d'autre part, engager des mesures qui doivent être prises pour atténuer l'ampleur du phénomène d'envasement des retenues par des mesures curatives, tels que : le dragage, la surélévation ou le rehaussement des évacuateurs par des hausses fusibles, la mise en place d'évacuateur de demi-fond... etc.

CHAPITRE II . Présentation du barrage de Gargar (wilaya de Relizane)

Entre autre, il est utile de valoriser la vase extraite de l'opération de dragage par son utilisation comme matériau de construction et de revêtement dans les travaux de routes et chaussés.

D'après ASNOUNI. a (2016), le bassin versant de oued a fait l'objet de plusieurs opérations de lutte préventive pour permettre la protection de la retenue du barrage contre le transport sédimentaire :

- **Correction torrentielle :**

Il s'agit d'installer des barrages successifs le long des talwegs pour corriger la pente dont le but est de diminuer l'activité de l'érosion linéaire (ravinement) qui connaît une évolution dangereuse et de protéger le barrage de Gargar contre un envasement accéléré. De même, réduire les risques de glissements et d'éboulements qui menacent continuellement la route.

Les types d'ouvrages préconisés sont des seuils en gabions, des seuils en pierres sèches et des seuils en terre.(figure n°16)



Figure n°16 : seuils en gabion avec déversoir

- **Fixation des berges :**

CHAPITRE II . Présentation du barrage de Gargar (wilaya de Relizane)

Pour renforcer les procédés mécaniques (seuils) et lutter contre tout affouillement des berges, un procédé biologique a été prévu et concerne des plantation adaptées aux conditions écologiques du milieu .

- **Plantation rustique :**

Comme l'arboriculture rustique répond positivement aux vœux de la population riveraine et joue un rôle efficace contre la dégradation des sols, certains versants ont été choisis pour la plantation de l'olivier.

- **Le reboisement :**

Reboiser une grande superficie de bassin versant par le Pin d'Alep, l'Eucalyptus et le Cyprès (figure n°17)



Figure n°17 : partie amont du bassin reboisée par le pin d'Alep

Etant donné que le barrage est assez envasé, il y a eu lieu de préconiser certaines mesures dont le but est de récupérer une partie de la capacité du barrage perdu par l'effet du dépôt sédimentaire causé par le phénomène de l'envasement et transports solide, on peut citer :

- **Soutirage des sédiments :**

Elle est possible grâce à l'ouverture partielle ou totale des vannes d'un barrage lors du passage d'une crue, ce qui permet d'exporter ou de chasser une partie des sédiments avant de se décanter au fond du réservoir par la force du torrent d'eau. Cela permet une réduction partielle estimée de 30% jusqu'à 70% de la vase permettant d'atténuer l'ampleur du dépôt dans une retenue (Azzi F, 2017).

- **Mise en place des barrages de décantation :**

La mise en place d'un barrage de décantation de la vase permet d'augmenter et de préserver l'efficacité de remplissage d'une retenue, à titre d'exemple, le barrage de Boughezoul, ouvrage de crue, situé à l'amont du barrage Ghrib.

Le barrage de Boughezoul a été conçu essentiellement comme bassin de décantation des sédiments du bassin versant du Cheliff, et les empêcher d'atteindre le réservoir du barrage Ghrib. Cette solution a permis un taux de réduction de 24% de l'envasement du Ghrib (ANBT 2008).

- **Technique du dragage d'une retenue :**

La technique du dragage reste une technique onéreuse la moins pratique, elle doit satisfaire des conditions de faisabilités très précises de géologie et de morphologie du réservoir, c'est pour cette raison qu'on fait recours au dragage que lorsqu'il représente la meilleure solution du point de vu technico-économique (Mehdi, 2015).

- **Surélévation du barrage :**

Dans certain cas, la surélévation du seuil libre du barrage par des hausses fusibles reste une solution intéressante dans la mesure où les autres solutions restent relativement couteuses.

Il existe plusieurs techniques de surélévation du seuil du barrage selon la nature de cette surélévation. Parmi ces techniques, on citera la surélévation par l'emplacement de hausses fusibles, comme l'exemple du barrage du Ghrib.

- **La valorisation de la vase :**

Il est vrai que le soutirage et le dragage des barrages reste une solution très prometteuse qui permet de prolonger la durée de vie de l'ouvrage, cependant ces pratiques posent un problème d'ordre environnemental concernant l'utilisation d'énormes quantités de vase soutirée par chaque opération de dragage, selon (Selkaoui 2016).

Devant de telles quantités de vase rejetées à l'aval du site du barrage, de sérieux problèmes d'environnement sont apparus, il serait alors plus judicieux de mener une réflexion pour une utilisation rationnelle de la vase qui peut être valorisée dans le domaine des matériaux de construction, dans ces travaux de recherche.

Selkaoui (2016), a présenté une synthèse de travaux et des propositions relatives à l'emploi de la vase pour une meilleure efficacité de l'opération et une valorisation des matériaux dans les domaines ci-après :

- Fabrication du béton et mortier
- Fabrication des liants (ciments)
- Fabrication de brique
- Construction des routes et chaussées

D'après Selkaoui (2016), la valorisation de la vase issue des opérations de dragage reste une condition favorable et économique à entreprendre pour cette démarche curative.

II.6 Réglementation relative à l'intervention sur les barrages pour lutter contre les risques :

Malgré l'existence des lois impératives claires (annexe)pour protéger les bassins versants de chaque ouvrage dont le but est de réduire l'érosion hydrique, il y a très peu d'intervention de protection au niveau de bassin versant de l'Oued Rhiou .

Mais pas seulement les apports solides et l'érosion hydrique qui aggravent le phénomène d'envasement, la mauvaise gestion d'ouvrage pendant les premiers années d'exploitation par le manque d'opération de vidange (la non ouverture complète des vannes de fond).

CHAPITRE II . Présentation du barrage de Gargar (wilaya de Relizane)

C'est une technique indispensable pour un barrage en zone aride et semi-aride laisser les vannes fermées, c'est laisser la vase s'accumuler au fond du barrage et par conséquent la durée de vie du barrage diminue. En plus, le colmatage des pertuis de vidange est inévitable dont les conséquences seront néfastes pour la gestion des barrages .

CHAPITRE III
**Caractéristiques morpho
métriques du bassin versant
de l'Oued Rhiou**

CHAPITRE III . Les caractéristiques morphométriques du bassin versant de l'Oued Rhiou

Introduction :

Afin de mieux étudier la particularité du relief d'un bassin versant et pour mieux appréhender son comportement hydrologique, il est impératif de connaître ses caractéristiques morpho métriques (forme, relief, altitude, pente, réseau hydrographique...).

Ces derniers interviennent souvent d'une façon combinée dans les modalités de l'écoulement.

Ces paramètres expliquent le cycle de transformation des pluies en écoulement et la forme de bassin, et s'appêtent à une analyse quantifiée.

Trois types d'indices morpho métriques nous aident à expliquer le comportement hydrologique des bassins, et établir une classification de ceux-ci en fonction de leurs aptitudes vis à vis des processus morphogéniques actuels :

- Les indices de taille et de forme ;
- Les indices de relief (hypsométrie) ;
- Les indices morphométriques d'organisation du réseau hydrographique.

Les différents paramètres sont mesurés à l'aide d'outils informatiques tels que le logiciel ArcGis 10.3, et le modèle numérique de terrain (MNT).

Chapitre III .Caractéristiques morpho métriques de bassin versant de l'Oued Rhiou :

III.1. Etude de forme :

III.1.1 .Coefficient de forme

La forme du bassin versant influence l'écoulement et l'allure de l'hydro gramme de crue à l'exutoire. Il existe différents indices morphologiques permettant de caractériser la forme, et aussi de comparer les bassins versants entre eux.

Parmi ces indices celui de Gravelius (1861-1938), proposé en 1914 (appelé aussi : coefficient de compacité).

Il se définit comme le rapport du périmètre du bassin versant au périmètre du cercle ayant la même surface. Si le périmètre du bassin est noté P et sa surface A, le coefficient de compacité s'exprime comme suit :

$$Kc=0.28P\sqrt{A}$$

Il est égal à 1 pour un bassin de forme circulaire et croit à mesure que la déformation s'accroît.

Pour le bassin de l'Oued Rhiou l'indice de compacité est de : **Kc=1.5**. Cette valeur indique que le bassin est de forme allongée, ce qui

CHAPITRE III . Les caractéristiques morphométriques du bassin versant de l'Oued Rhiou

traduit un temps de parcourt assez long favorisant une érosion linéaire et régressive.

III.1.2. Rectangle équivalent :

La notion du rectangle équivalent appelée aussi rectangle de Gravelius est une transformation purement géométrique en vertu de laquelle on assimile le bassin à un rectangle ayant le même périmètre et la même superficie.

De cette façon, les courbes de niveau deviennent des droites parallèles aux petits côtés du rectangle, et l'exutoire est l'un de ces petits côtés.

En effet le rectangle équivalent permet de comparer les différents bassins versants entre eux du point de vue de l'influence de leurs caractéristiques géométriques sur l'écoulement.

$$L = KG \cdot \sqrt{A} / 1.28 \cdot [1 + \sqrt{1 - (1.128 KG)^2}]$$

$$I = KG \cdot \sqrt{A} / 1.28 \cdot [1 - \sqrt{1 - (1.128 KG)^2}]$$

L : longueur du rectangle équivalent

I : largeur du rectangle équivalent

A : la surface égal à L x I. (Km²)

P : le périmètre = 2(L+I). (Km)

Ainsi, pour ce qui est du bassin versant de l'Oued Rhiou , la longueur équivalente **L est de 61,24 Km** et la largeur équivalente a été déduite : **I = A/L = 12.57 Km .**

La surface est de **770 km²**, le périmètre est de **147.62km .**

III.2. Etude de relief

Le relief est un facteur très important, vu son influence sur le bilan hydrique et par conséquent dans l'aptitude aux écoulements, l'infiltration et l'évaporation. Il joue un rôle essentiel dans le comportement hydrologique d'un bassin. Partant de la répartition altitudinale des bassins, nous avons établi les courbes hypsométriques et les diagrammes des fréquences altimétriques (figure n° 18).

CHAPITRE III . Les caractéristiques morphométriques du bassin versant de l'Oued Rhiou

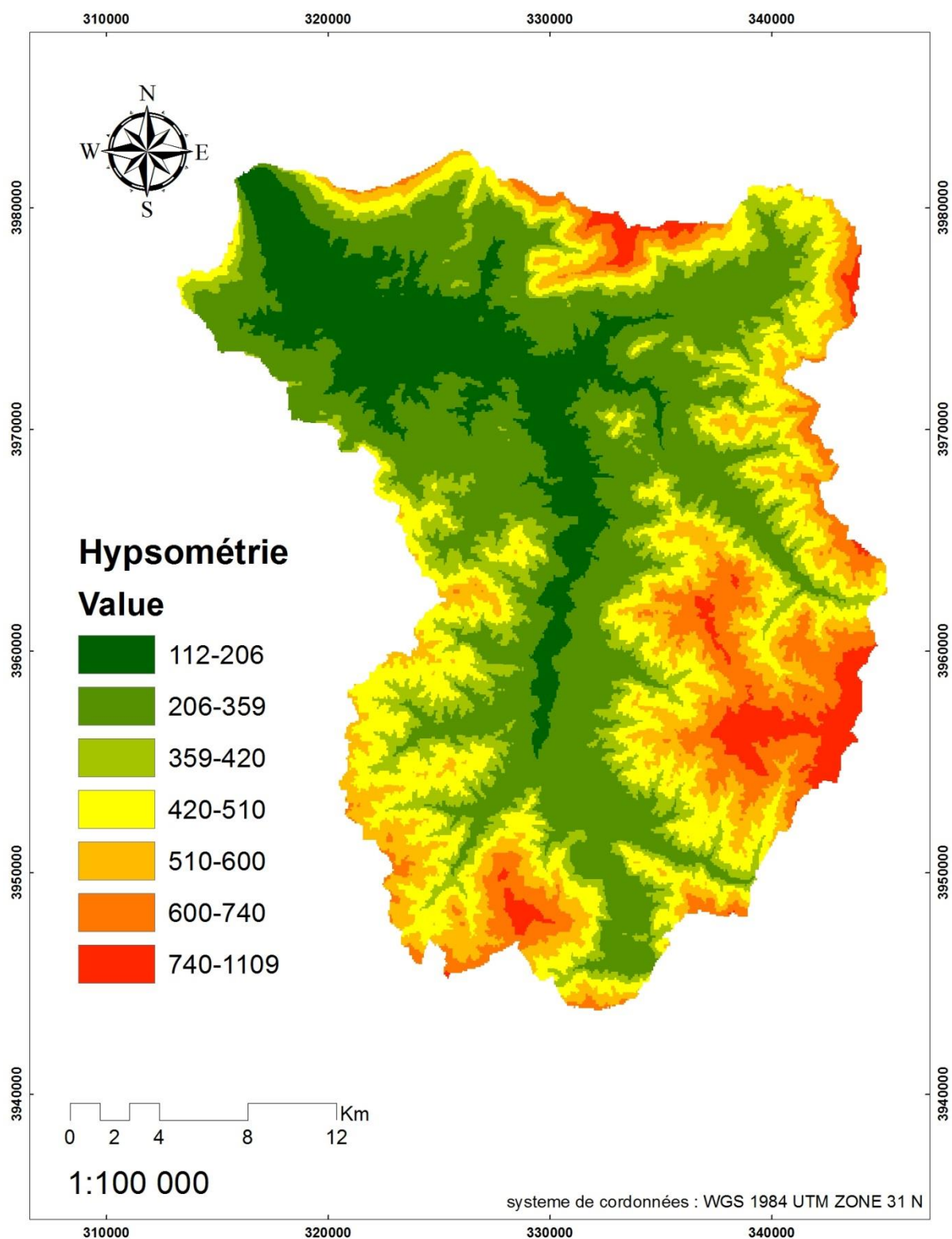


Figure n° 18 : Carte d'ypsométrie de bassin versant de l'Oued Rhiou

CHAPITRE III . Les caractéristiques morphométriques du bassin versant de l'Oued Rhiou

III.2.1 Courbe hypsométrique :

La courbe hypsométrique fournit une vue synthétique de la pente du bassin, donc du relief. Cette courbe exprime la répartition de la surface du bassin versant en fonction de son altitude. Elle porte en abscisse la surface (ou le pourcentage de surface) du bassin qui se trouve au-dessus (ou au-dessous) de l'altitude représentée en ordonnée.

Les courbes hypsométriques demeurent un outil pratique pour comparer plusieurs bassins entre eux ou les diverses sections d'un seul bassin. Elles peuvent en outre servir à la détermination de la pluie moyenne sur un bassin versant et donnent des indications quant au comportement hydrologique et hydraulique du bassin et de son système de drainage.

Le but recherché ici, est la détermination de la classe de relief, les hauteurs moyennes, la médiane et le pourcentage des aires partielles entre les différentes courbes de niveau (tableau n° 13 et figure n° 19) .

Tableau n° 13. Altitudes et surface cumulée de bassin versant de l'Oued Rhiou

Altitudes (m)	Surfaces Partielles (km ²)	Surfaces Partielles en %	Altitudes cumulées en %
740-1109	23,64	3,07	3,07
600-740	62,11	8 ,07	11,14
510-600	87,68	11,39	22,52
420-510	135,41	17 ,58	40,11
359-420	102,99	13,37	53,48
206-359	252,23	32,75	86 ,24
112-206	105,98	13 ,73	100

CHAPITRE III . Les caractéristiques morphométriques du bassin versant de l'Oued Rhiou

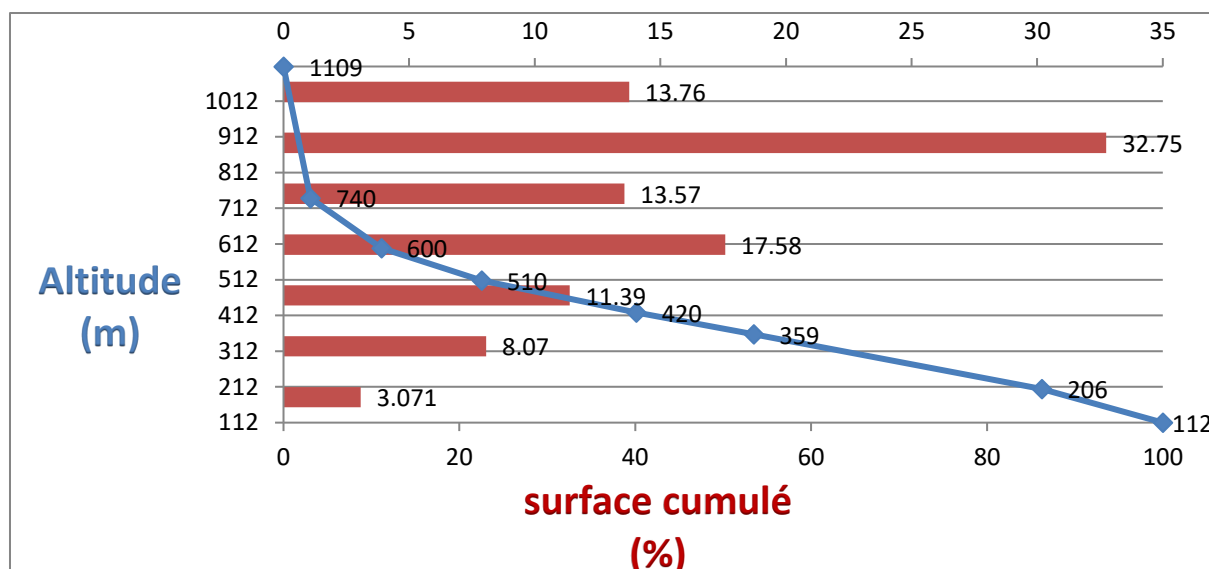


Figure n° 19 : la courbe hypsométrique

III.2.2 Altitude moyenne :

C'est le rapport de la somme de la surface élémentaire par l'altitude moyenne correspondante sur la surface totale du bassin versant .

$$H_{moy} = \frac{\sum h_i \cdot a_i}{A}$$

h_i : altitude moyenne entre deux courbe de niveau (m)

a_i : surface élémentaire comprise entre deux courbe de niveau (Km²)

A : surface de bassin versant (Km²)

A partir de la courbe , **H_{moy} = 369 ,33 m** .

II.2.3 Dénivelée :

A partir de la courbe hypsométrique, il est favorable d'en déduire les altitudes de fréquence 5% et 95% de la surface du bassin versant , il Est donnée par la formule suivante :

$$D = H_{5\%} - H_{95\%}$$

$$H_{5\%} = 712m , H_{95\%} = 162m , D = 550m$$

III.2.4 Indice de pente globale (I_g) :

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

$$I_g = D / L$$

Où :

CHAPITRE III . Les caractéristiques morphométriques du bassin versant de l'Oued Rhiou

D : dénivelée (m).

L = Longueur du rectangle équivalent.

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

$H5\%$ et $H95\%$ Sont les altitudes entre lesquelles s'inscrivent 90% de la surface du bassin. La dénivelée D est donc égale à $H5\% - H95\%$.

L'indice de pente globale (I_g) sert aussi à classer le relief (tableau n° 14) d'après une classification qui peut être appliquée à tout bassin quelle que soit sa superficie.

Pour notre bassin versant l'indice global est égal à **8.98** ce qui le place d'après le tableau n°14 dans la classe des terrains intermédiaires entre la plaine et la zone à ondulation du terrain.

Tableau n° 14. Classification du relief (I_g).

Relief	Valeur d' I_g
faible	$2 < I_g < 5$
modéré	$5 < I_g < 10$
fort	$10 < I_g < 20$
assez fort	$20 < I_g < 50$
très fort	$I_g > 50$

III.2.5 Indice de pente moyenne I_{pm} :

L'indice de pente moyenne est le rapport entre la dénivelée et la longueur de rectangle équivalent.

$$I_{pm} = \frac{H_{max} - H_{min}}{L}$$

H_{max} = altitude maximal

H_{min} = altitude minimal

L = Longueur du rectangle équivalent. **$I_{pm} = 16.28$**

III.2.6 Dénivelée spécifique DS :

La dénivelée spécifique apparaît comme une correction de la dénivelée simple par application d'un coefficient qui dépend de la forme du bassin, ce qui donne la possibilité de comparaison entre ses valeurs pour différents bassins (Tableau n° 15).

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

I_g = indice de pente globale (m/Km).

A = surface du bassin (Km²).

CHAPITRE III . Les caractéristiques morphométriques du bassin versant de l'Oued Rhiou

Tableau n° 15 . Classification du Relief en fonction de Ds

Relief très faible	Ds < 10
Relief faible	10 m < Ds < 25 m
Relief assez faible	24 m < Ds < 50 m
Relief modéré	50 m < Ds < 100 m
Relief assez fort	100 m < Ds < 250m
Relief fort	250 m < Ds < 500 m
Relief très fort	500 m < Ds

Tableau n° 16. Valeurs de l'indice de pente global (Ig) et la dénivelée spécifique (Ds) du bassin versant

Bassin	Ig	Relief selon Ig	Ds	Relief selon Ds
Oued rhiou	8 , 98	Très fort	249 ,18	fort

D'après les résultats de tableau n°16, la classification d'ORSTOM montre que le relief de bassin versant de l'Oued Rhiou est très fort selon l'indice de pente global et fort selon la dénivelée spécifique.

III.3. Le réseau hydrographique (figure 21)

La disposition du réseau hydrographique est liée en grande partie à l'évolution des phénomènes structuraux qui ont affecté la région au cours des temps géologiques.

Le chevelu hydrographique suit pratiquement les accidents importants qui ont affecté les formations lithologiques et se modifie selon l'évolution tectonique (Bouanani, 2004 et Daoudi, 2008).

Le réseau hydrographique du bassin versant de l'Oued Rhiou (figure n°20) est composé d'un oued principal (Oued Rhiou) et d'une série de tributaires : Oued Tleta, Oued Sensig et d'autres petites cours d'eau.

L'analyse hydrographique indique que le réseau du bassin de l'Oued Rhiou est d'ordre 4 (Tableau n°17).

CHAPITRE III . Les caractéristiques morphométriques du bassin versant de l'Oued Rhiou

Tableau n° 17. Le réseau hydrographique de bassin versant de l'Oued Rhiou

Ordre	Nombre	Longueur par (Km)	Longueur moyenne
1	59	149 .58	2 .54
2	24	67.37	2.81
3	11	31 .02	2.82
4	23	41.64	1 .81

CHAPITRE III . Les caractéristiques morphométriques du bassin versant de l'Oued Rhiou

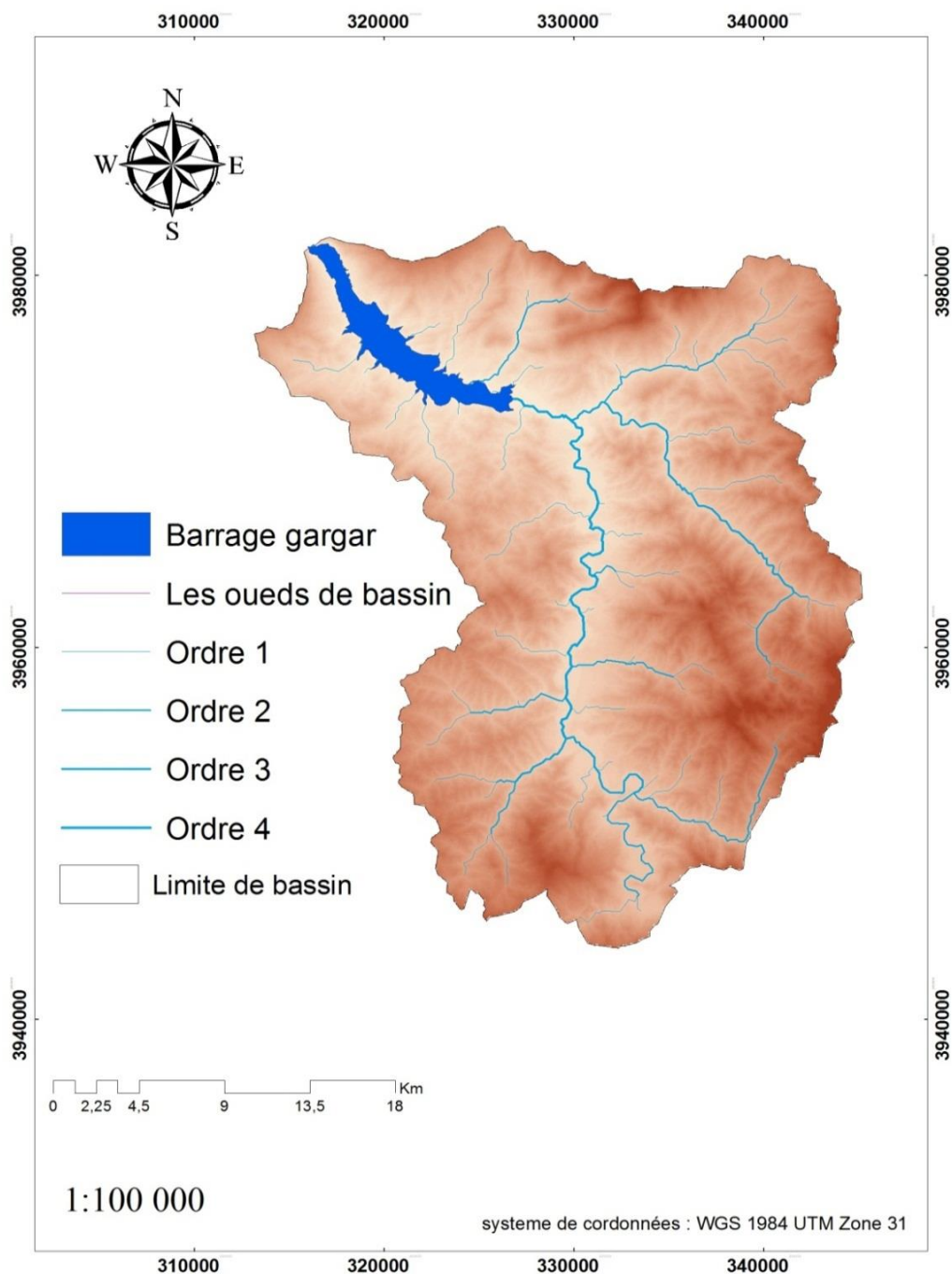


Figure n°21 : Carte de réseau hydrographique de bassin versant .

III .3.1 Densité de drainage Dd :

Elle est déterminée comme étant le rapport entre la longueur totale des cours d'eau de tout ordre Li sur la surface du bassin versant A.

$$\mathbf{Dd} = \Sigma Li / A$$

Où Dd est la densité de drainage en (km/km²), Li est la Somme des longueurs de tous les thalwegs y compris le thalweg principal, et A est la superficie du bassin versant.

La valeur de densité de drainage est de **0.38 km/km²**, pour le bassin versant de l'Oued Rhiou.

D'après ce résultat on peut déduire que le bassin versant est en général assez bien drainés. Ainsi l'importance du drainage est due principalement à la nature de formation qui forment le bassin, aux pentes assez fortes d'une part et d'autre part au régime climatique, caractérisé par ses pluies irrégulières et violentes et la forme du bassin versant qui plus au moins allongée.

III.3.2 Fréquence des talwegs :

Selon le schéma de Strahler, adopté dans cette étude, un cours d'eau qui n'a pas d'affluent se voit attribuer la valeur 1. Puis, le calcul de la valeur de chaque cours d'eau se fait d'une manière que chaque cours d'eau d'ordre n+1 est issu de la confluence de deux cours d'eau d'ordre n, et ainsi de suite. L'ordre de Strahler d'un bassin versant est l'ordre du cours d'eau principal à l'exutoire.

Cette classification du réseau hydrographique permet d'avoir une idée sur plusieurs caractéristiques de ce dernier. D'abord, sa vieillesse (plus un réseau est vieux, plus il est ramifié, plus son ordre de Strahler est grand). Ensuite, la perméabilité des roches sur lesquelles il repose (une roche très perméable permet à l'eau s'infiltrer), et donc moins de ruissellement à sa surface ; le réseau est moins ramifié et son ordre de Strahler est donc plus petit que s'il se trouvait sur une roche.

$$\mathbf{F} = \Sigma Ni / A$$

Le fréquence des talwegs F qui est le rapport du nombre total des talwegs Ni à la superficie du bassin versant A en Km².

CHAPITRE III . Les caractéristiques morphométriques du bassin versant de l'Oued Rhiou

La valeur de fréquence est **0.15talweg /Km²**, car notre bassin est de forme allongé, avec une superficie importante et des précipitations concentré en automne et en hiver, ça signifie aussi le taux élevé d'érosion dans le bassin.

III.3.3 Rapport de confluence :

Le rapport de confluence est un nombre sans dimension exprimant le développement du réseau de drainage. Il varie suivant l'ordre considéré. C'est un élément important à considérer pour établir des corrélations d'une région à une autre.

Selon Strahler (1964), ce rapport varie de 3 à 5 pour une région où la géologie n'a aucune influence.

D'après les résultats obtenus, On remarque que le rapport de confluence calculé sur le bassin est proche de 2, et Si l'on admet que, pour un bassin parfaitement organisé **Rc = 2** . La ramification est bien développée (forme de chêne)

$$\mathbf{Rc=Nn / (n+1)}$$

Où, Nn: nombre de cours d'eau d'ordre n. **Rc=2**

III.3.4 Rapport des longueurs :

C'est le rapport de longueur des cours d'eau d'ordre N+1, par celle des cours d'eau d'ordre N. il se définit par la formule suivante :

$$\mathbf{Rl=L (n+1) / Ln}$$

LN : longueur de cours d'eau d'ordre n.

Le rapport de longueur est de **0.75** pour le bassin versant de l'Oued Rhiou .

III.3.5 Coefficient de torrentialité :

C'est le produit de la densité de drainage par la fréquence de thalwegs élémentaires.

$$\mathbf{Ct=Dd x N1 / A}$$

Ct : coefficient de torrentialité ;

Dd : densité de drainage en km/km² ;

N1 : nombre de thalwegs d'ordre « 1 » ;

A : surface du bassin versant.

Le coefficient de torrentialité est égal à 0.03. On en déduit que cet écoulement est assez fort et il peut s'expliquer par les fortes pentes favorisant les cours d'eau d'ordre 1 et 2 caractérisant le bassin versant.

III.3.6 Temps de concentration :

Les caractéristiques physiographiques d'un bassin versant influencent fortement sa réponse hydrologique, et notamment le régime des écoulements en période de crue ou d'étiage.

CHAPITRE III . Les caractéristiques morphométriques du bassin versant de l'Oued Rhiou

Le temps de concentration T_c , caractérise en partie la vitesse et l'intensité de la réaction du bassin versant à une sollicitation des précipitations, est influencé par diverses caractéristiques morphologiques : en premier lieu, la taille du bassin (sa surface), sa forme, son élévation, sa pente et son orientation.

A ces facteurs s'ajoutent encore le type de sol, le couvert végétal et les caractéristiques du réseau hydrographique. Ces facteurs, d'ordre purement géométrique ou physique, s'estiment aisément à partir de cartes adéquates ou en recourant à des techniques digitales et à des modèles numériques.

Le temps de concentration des eaux sur un bassin versant est défini comme la durée nécessaire à une goutte d'eau pour parcourir le chemin hydrologique entre un point le plus éloigné du bassin versant et l'exutoire.

Calcul du temps de concentration par la formule de GIANDOTTI :

$$T_c = 4\sqrt{A} + 1.5 L_p / .8 \sqrt{H_{moy} - H_{min}}$$

A : surface de bassin versant [km²] ;

L_p : longueur de talweg principale [km] ;

H_{moy} : Altitude moyenne [m] ;

H_{min} : Altitude minimale [m].

$$T_c = 10.90$$

Le temps de concentration pour notre bassin versant est relativement, conjugué avec la forme du bassin versant qui est plus au moins allongé favorise l'érosion linéaire.

III.3.7 Vitesse d'écoulement :

C'est le rapport entre la longueur de l'oued principal L avec le temps de concentration T_c :

$$V_{ec} = L / T_c = 1.06 \text{m/s} .$$

III .4 Analyse des caractéristiques morphométriques :

Les résultats des caractéristiques morphométriques (tableau n°18) , montrent que la densité de drainage est assez importante, de plus le coefficient de torrentialité semble assez faible ceci est due certainement au petit nombre de talwegs de premier ordre qui sont favorisés par la forme du bassin versant, qui est allongée, d'après le coefficient de Gravillius qui est de l'ordre de 1.5 favorisant l'érosion linéaire.

Quant au temps de concentration, il semble important (long) puisque le temps qu'a mis une goutte d'eau pour arriver au point le plus

CHAPITRE III . Les caractéristiques morphométriques du bassin versant de l'Oued Rhiou

éloigné de l'exutoire est 10.90 heures pour le bassin de l'Oued Rhiou, vu sa forme allongée, Ce qui laisse à l'eau le temps de creuser le sol (vu la texture du sol et la lithologie) et développer l'érosion en griffes puis en ravines, ravins, thalwegs jusqu'à arriver au Bad lands.

la faible valeur du coefficient de torrentialité correspondant au bassin de l'Oued Rhiou qui 0.03 en comparant avec la calculée du bassin versant de l'Oued El Maleh (Dahmen a ,2015) , est liée probablement à la faiblesse des précipitations (en quantité) mais torrentielles et la superficie du bassin versant.

Tableau n°18. Caractéristiques morphométriques et hydrographiques du bassin versant

Caractéristiques	Symbole	Unité	BV de l'Oued Rhiou
Surface	S	Km²	770
Périmètre	P	Km	147.62
Longueur du rectangle équivalent	L	Km	61.24
Largeur du rectangle équivalent	l	Km	12.57
Altitude maximale	Hmax	m	1109
Altitude moyenne	Hmoy	m	369.33
Déniplée	D	m	550
Déniplée spécifique	Ds	m	
Altitude minimale	Hmin	m	112
Altitude 5%	H5%	m	712
Altitude 95%	H95%	m	162
Indice de compacité	Kc	/	1.5
Indice de pente globale	Ig	m/Km	8.98
Indice de Pente moyenne	Ipm	m/Km	16.28
Longueur du cours d'eau principal	Lp	Km	41.64
Densité de drainage	Dd	Km/Km²	0.38
Temps de concentration	Tc	Heurs	10.90
Coefficient de torrentialité	Ct	/	0.03
Fréquence de telwegs	F	Telw/Km²	0.15
Rapport de confluence	Rc	/	2
Rapport de longueurs	Rl	/	0.75
Vites d'écoulement	Vec	m/s	1.06

CHAPITRE IV

Estimation de l'érosion hydrique par l'application de l'équation universelle de pertes en sol (USLE) de bassin versant de l'Oued Rhiou

IV .1 Introduction

La connaissance des milieux naturels nécessite une étude de l'ensemble de leurs composantes qu'elles soient d'ordre physique ou biologique.

(Delpoux m,1972 in Bensaada s, 2005) affirme que tout paysage se divise en deux unités élémentaires : le support physique et sa couverture.

Le support physique est liée à la caractéristique géologique, orographique, géomorphologique et édaphique alors que la couverture matérialisera essentiellement les variantes biologiques.

L'étude de processus d'érosion a fait appel, durant les deux dernières décennies à une panoplie de techniques : Méthodes quantitatives et des méthodes qualitatives.

L'estimation des facteurs d'érosion et les zones exposées aux risques d'érosion du sol peut être très utile pour identifier le degré des risques afin d'établir des mesures de conservation et les plans de gestion.

L'utilisation des méthodes classiques pour évaluer les risques d'érosion des sols est coûteuse et prend du temps entre autres les parcelles Wischmeier.

L'intégration des modèles existants de l'érosion du sol, les données de terrain et les données fournies par les techniques de télédétection par l'utilisation des systèmes d'information géographique (SIG) semble être un atout pour d'autres utilisations.

Les chercheurs ont développé de nombreux modèles de prévision qui permettent d'estimer la perte en sol et d'identifier les zones où des mesures de conservation ont le plus grand impact sur la réduction de la perte de sol par l'évaluation quantitative.

Ces modèles peuvent être classés en trois grandes catégories : empirique, conceptuelle et physique.

Des modèles conceptuels et physiques tels que l'Équation universelle des pertes en terre (USLE), l'Équation universelle des pertes en terre modifiée (MUSLE) ou Équation universelle des pertes en terre révisée (RUSLE) sont les modèles empiriques les plus populaires utilisés dans le monde entier pour la prévision et le contrôle de l'érosion.

Elles sont appliquées dans de nombreux bassins hydrographiques dans le monde.

La principale raison pour laquelle les équations de régression empirique sont encore largement utilisées pour prédire l'érosion des sols est leur simplicité, ce qui les rend applicables même si seulement une quantité limitée de données d'entrée est disponible.

Les techniques de télédétection et de SIG sont devenues des outils précieux, en particulier lors de l'évaluation de l'érosion à grande échelle en raison de la quantité de données nécessaire et la plus grande surface de couverture.

Pour cela, l'utilisation de ces techniques est largement adoptée et en ce moment il y a plusieurs études qui montrent le potentiel des techniques de

CHAPITRE IV .Estimation de l'érosion hydrique par l'application de l'équation universelle de pertes en sol (USLE) de bassin versant de l'Oued Rhiou

télé-détection et leurs intégrations avec le SIG dans la cartographie de l'érosion du sol (Bouzeria h , 2018).

Dans le présent chapitre, un effort pour prévoir les pertes de terre annuelles dans le bassin versant étudié a été réalisé à l'aide de l'Équation universelle des pertes en terre (USLE) adoptée dans le SIG.

L'USLE est le modèle dominant appliqué dans le monde entier pour l'estimation des pertes en sols, en raison de sa facilité d'application et la compatibilité avec le SIG (Millward et al (1999) ; Jain et al (2001) ; Jasrotia, A.S, Singh R, (2006) ; Dabral et coll(2008) ; Kouli et al(2009) ; Pandey et al (2009) ; Bonilla et al (2010).

Bien qu'il s'agit d'un modèle empirique, non seulement il prédit les taux d'érosion des bassins versants non jaugés en utilisant les caractéristiques et les conditions hydro climatiques des bassins versants, mais présente également l'hétérogénéité spatiale de l'érosion du sol qui est trop faisable à des couts raisonnables et une meilleure précision dans les grandes superficies (Angima et al, 2003).

En effet, L'USLE a été largement utilisée pour les bassins hydrographiques agricoles et forestiers, afin de prédire le taux annuel de perte de sols par l'introduction des moyens de calcul des facteurs de l'érosion du sol (Wischmeier et Smith, 1978 et Renard et al 1997).

Les techniques de Système d'Information Géographique (SIG) ont été adoptées pour traiter les données obtenues à grande échelle .

L'équation Universal (USLE) est un des modèles les plus adaptés pour l'estimation annuelle de l'érosion hydrique potentielle des sols.

En effet, elle a été mise en pratique dans de nombreux pays du Nord et adaptée en fonction du contexte climatique, pédologique, topographique à différents pays du Sud (Renard et Freimund, 1994 ; Mati et al., 2000 ; Boggs et al., 2001 ; Cohen et Rey, 2005 ; Dumas et al.,2010 ; Fengyin et al., 2010).

La robustesse, la reproductibilité à différents niveaux d'échelle et à différents milieux de ce modèle (Jabbar et Chen, 2005 ; Mati et *al.*, 2000) permettent alors d'obtenir les premiers éléments de réponses sur la dégradation des bassins versants non jaugés.

En pratique, ces approches peuvent donner des résultats pertinents pour l'évaluation potentielle et réelle de l'érosion hydrique des sols.

Nous l'adopterons ici pour spatialiser l'érosion potentielle (USLE) et pour estimer les quantités de matériaux évacuées vers le bassin versant du barrage Gargar.

IV.2 Application de la méthode :

La mise en place du modèle USLE nécessite des données sur la topographie, l'occupation du sol, la climatologie et la pédologie.

L'une des difficultés majeures à l'élaboration du modèle a été la collecte de données pertinentes vu qu'il n'existe pas une banque de données.

Les données géographiques de référence sur la topographie, les précipitations, l'occupation du sol sont soit inexistantes, soit incomplètes ou obsolètes à petite échelle et les données numériques géo-référencées sont encore plus rares.

Les documents cartographiques ont été pour la plupart réalisés à petite échelle et sans mise à jour récente.

Pour cela, on a eu recours à des bases de données en ligne à l'échelle mondiale qui constitue dans certains cas une alternative qui est alors intéressante à tester. La base de données est GloREDA(Global Rainfall Erosivity Database) sur le site ESDAT- European commission en 2017.

Un des objectifs de cette étude est donc d'évaluer le potentiel des données existantes et les démarches de production d'information numérique à y associer pour une modélisation spatialisée dans un SIG de l'érosion hydrique des sols.

Selon le modèle USLE, l'érosion est une fonction multiplicative tenant compte de l'érosivité des pluies (facteur R) par la résistance du milieu (facteurs C, K, LS, P).

Chaque facteur est une estimation numérique d'une composante précise qui affecte la gravité de l'érosion du sol en un endroit donné.

Cinq facteurs servent à calculer les pertes en sol (A) : la topographie (LS), l'agressivité des précipitations (R), l'érodibilité du sol (K), le couvert végétal (C), les pratiques antiérosives (P), dont l'équation se présente sous la forme :

$$A=R*K*LS*C*P$$

A exprimant les pertes en sol annuelles moyennes possibles à long terme (t.ha.an),

R exprimant l'indice d'érosivité des pluies (MJ.mm/ha.h.an),

K exprimant l'indice d'érodibilité des sols (t.ha.h/ha/MJ/mm)

LS exprimant le facteur de déclivité (adimensionnel),

C exprimant le facteur de végétation (adimensionnel),

P exprimant le facteur de pratique de conservation (adimensionnel).

IV.3 Inventaire des données utilisées :

Le jeu de données constitué pour cette étude est composé de bases de données, de cartes papier numérisées, optimisant l'information disponible.

CHAPITRE IV .Estimation de l'érosion hydrique par l'application de l'équation universelle de pertes en sol (USLE) de bassin versant de l'Oued Rhiou

Le facteur LS (facteur topographique) a été calculé à partir du DEM 30 (modèle numérique de terrain). Ces données sont disponibles sur le web, et se présentent sous forme de raster avec une résolution spatiale de 30 m.

Pour le facteur R (érosivité des pluies), nous avons utilisé la base de données mondiale sur l'érosivité des précipitations (GloREDa).

Les valeurs du facteur R calculées à partir des données de précipitations de différentes résolutions temporelles ont été normalisées aux valeurs du facteur R avec des résolutions temporelles de 30 minutes en utilisant des fonctions de régression linéaire. Les séries chronologiques des précipitations allaient d'un maximum de 52 ans.

L'occupation du sol (facteur C) est extraite à partir d'une classification d'image satellitaire Landsat 8, avec une résolution spatiale de 30 m, projetés à l'échelle universelle de Mercator, UTM ZONE 31 N (Universal Transverse Mercator).

la carte des sols (facteur K) basée sur les différentes textures de sol et la base de données DSMW (Digital Soil Map of the World), est la seule donnée disponible à l'échelle des bassin versant de la zone d'étude.

Une longue phase de prétraitement a permis la production d'une base de données de type vectorielle et raster spatialement cohérentes exploitable sous ArcGis.

La digitalisation, l'extraction de la zone d'intérêt, le géo référencement et la création de tables attributaires ont constitué les principales étapes de prétraitement des données (figure n° 21).

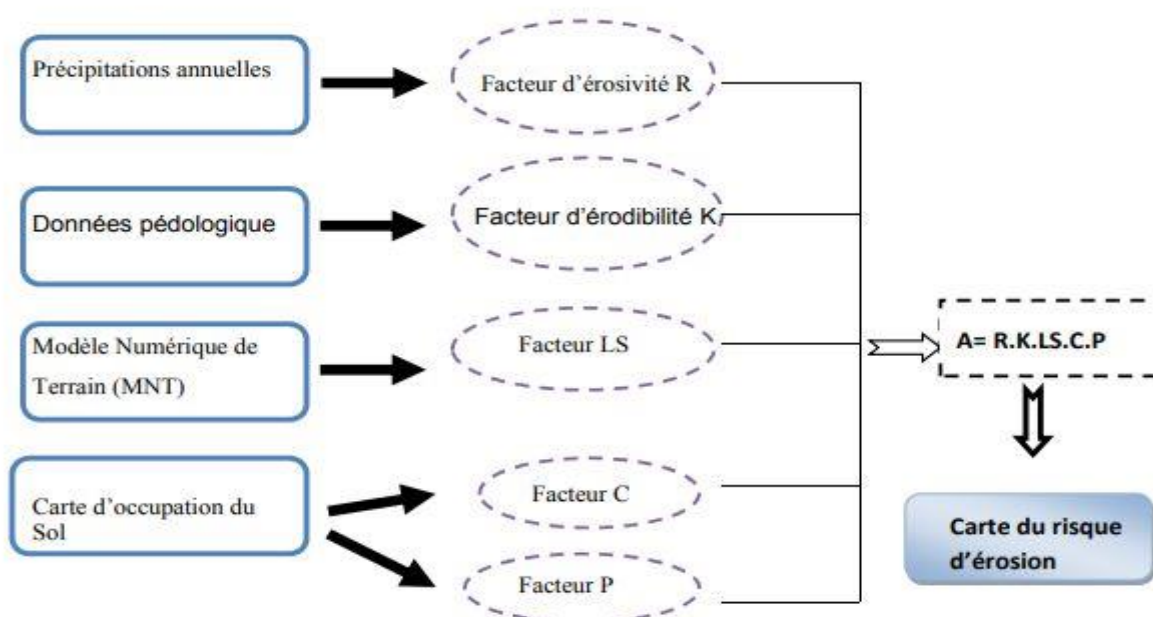


Figure n°21 : Organigramme de la méthodologie de travail

CHAPITRE IV .Estimation de l'érosion hydrique par l'application de l'équation universelle de pertes en sol (USLE) de bassin versant de l'Oued Rhiou

Les couches de données (cartes) extraites pour les facteurs K, LS, R, C, et P du modèle USLE ont été intégrées à l'aide de l'équation dans ArcGIS 10.3 qui effectue des analyses spatiales pour quantifier, évaluer, et générer les cartes des risques d'érosion du sol, ainsi que le degré de gravité pour les bassins versants étudiés.

En général, une valeur élevée reflète un taux plus élevé de production de sédiments, et l'inverse.

IV.4 Application de modèle USLE sur la zone d'étude :

IV.4.1 Calcul de l'indice d'érosivité des pluies R (MJ.mm/ha.h.an) :

Pour le calcul du facteur R dans le bassin versant de l'Oued Rhiou, on utilise la base de données mondiale sur l'érosivité des précipitations (GloREDa).

L'érosivité des pluies (facteur R) a été trouvée dans l'intervalle de 186.809 à 549.12 MJ. ha.mm-1.h-1.an-1 (figure n° 22).

CHAPITRE IV .Estimation de l'érosion hydrique par l'application de l'équation universelle de pertes en sol (USLE) de bassin versant de l'Oued Rhiou

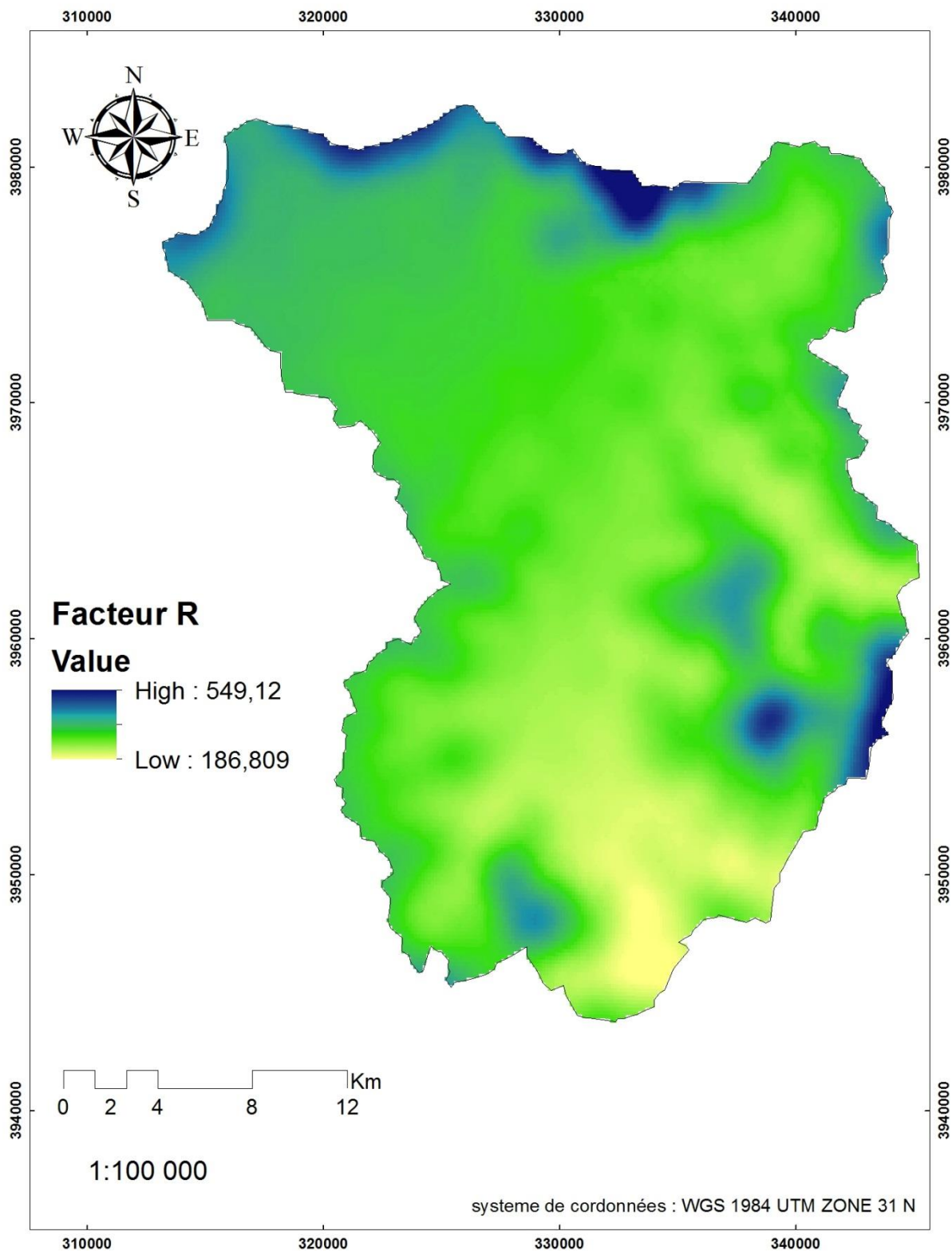


Figure n°22 : la Carte d'érosivité des pluies (facteur R)

IV.4.2 Calcul de l'indice d'érodibilité des sols K (t.ha.h/ha.MJ.mm) :

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 (figure n°23) 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 quatre 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 sols limoneux ont des valeurs de K modérées à élevées où le détachement des particules de sol est facile à modéré, l'infiltration est de modérée à faible ce qui donne des écoulements modérés à élevés, et le transport des sédiments est modéré à facile. Les sols des argiles limoneux ont des valeurs K plus élevés. Ce type de sols, produit facilement des écoulements importants.

Selon l'étude de (KACI & HABI & MORSLI, 2017) le bassin versant de l'Oued Rhiou comprend cinq différents types de sol (tableau n°19) ayant différentes caractéristiques.

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

La carte du sol a été classifiée avec les valeurs affectées de facteur K. Les valeurs du facteur K varient de 0.11 à 0.36 t.ha.h.ha-1.MJ-1.mm-1(figure n°24).

Tableau n°19 . La valeur de K en fonction du type de sol sur le bassin versant de l'Oued Rhiou.

Sol	Texture	Facteur K (t/ha)
Sols bruns calcaires	LAS	0,22
Sols fersiallitiques	LAS	0,46
Vertisols	AL	0,36
Sols minéraux bruts d'érosion	SL	0,11
Colluvions	AL	0,27

CHAPITRE IV .Estimation de l'érosion hydrique par l'application de l'équation universelle de pertes en sol (USLE) de bassin versant de l'Oued Rhiou

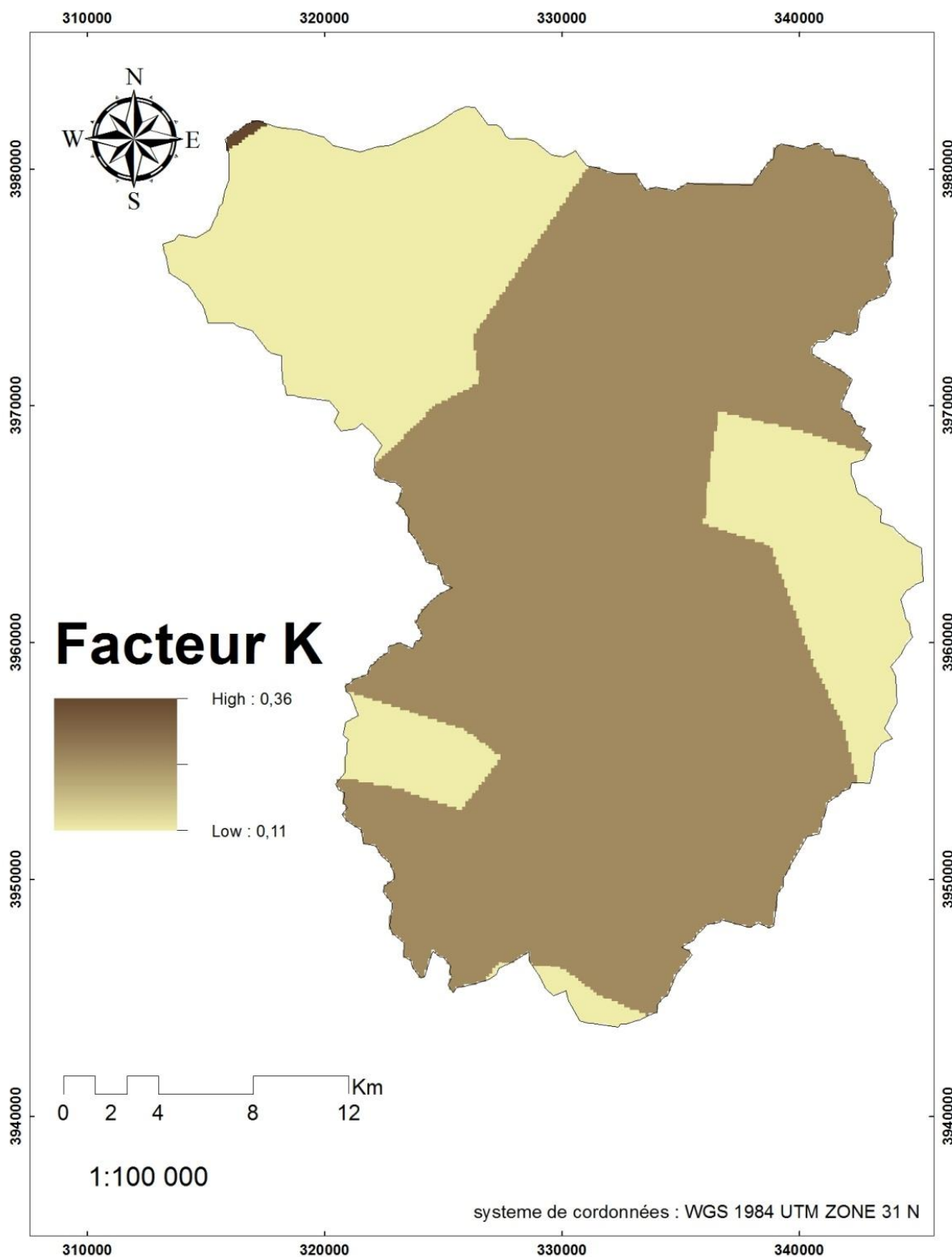


Figure n°23 : Carte d'érodibilité des sols (facteur K) .

IV .4.3 Calcul du facteur de déclivité LS :

La longueur et l'inclinaison de la pente influencent le rendement des sédiments il est déterminée par le facteur LS dans le modèle USLE.

En plus de l'inclinaison et de la longueur, les autres facteurs tels que le compactage, la consolidation et la perturbation du sol ont été également considérés lors de la génération du facteur LS.

L'érosion augmente avec l'inclinaison de la pente.

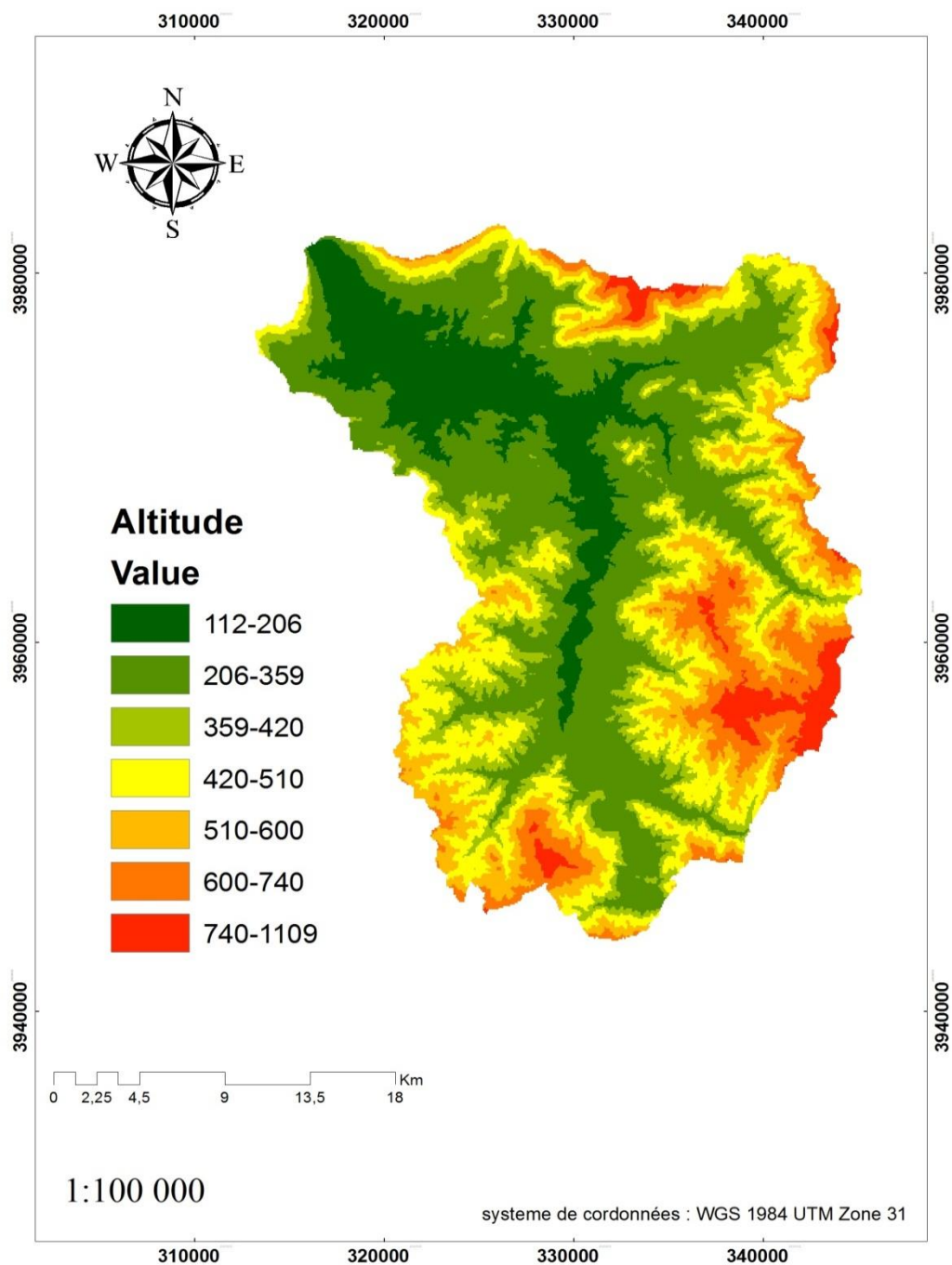
Ce facteur LS montre (Figure n°24) l'importance de l'inclinaison et de la longueur de pente dans les processus de l'érosion en nappe et en rigole.

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, entre 0 et 5, du facteur topographique 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 au versant les plus abrupts des affluents.

CHAPITRE IV .Estimation de l'érosion hydrique par l'application de l'équation universelle de pertes en sol (USLE) de bassin versant de l'Oued Rhiou



CHAPITRE IV .Estimation de l'érosion hydrique par l'application de l'équation universelle de pertes en sol (USLE) de bassin versant de l'Oued Rhiou

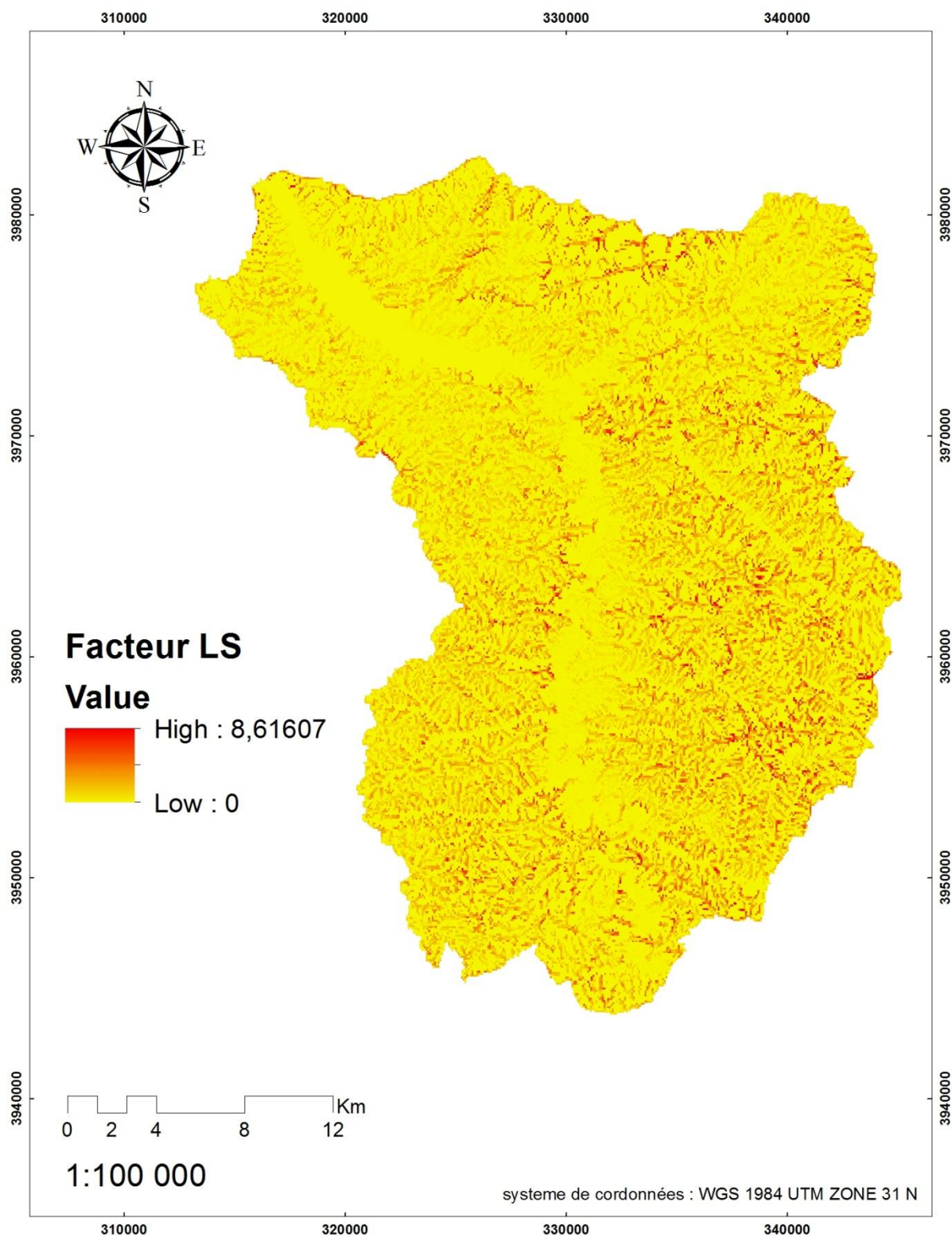


Figure n°24 : Carte de facteur topographique LS .

IV.4.4 Calcul du facteur de couvert végétal C :

Pour calculer le facteur C, La carte de répartition des formes végétales est extraite de la carte de l'occupation des terres, à partir d'une classification d'image satellitaire Landsat 8 (figure n°25).

Les formations végétales ont été classées en fonction de la densité, de la hauteur et du système cultural (tableau n°20) .

Tableau n°20. Coefficient de couvert végétal C en fonction du type d'occupation du sol.

Type de sol	Facteur C
Sol nu	1
Les forets	0.055
Maquis et broussailles	0.15
Arboriculture et olivier	0.9
Parcours	0.1
Terre de culture	0.5

La majeure partie du bassin est caractérisée par des valeurs du facteur C supérieures à 0,7. Ces zones sont des îlots de sols nus ou en jachère.

La seconde classe en importance est constituée de valeurs variant de 0,4 à 0,7. Les régions dans lesquelles se situe cette seconde classe sont principalement localisées au sud et sud-ouest. En général, ces zones sont associées aux grandes cultures céréalières et fourragères.

Les zones représentant les valeurs inférieures à 0,4 sont généralement couvertes de massifs forestiers et de formations de maquis/garrigue ou de matorral.

CHAPITRE IV .Estimation de l'érosion hydrique par l'application de l'équation universelle de pertes en sol (USLE) de bassin versant de l'Oued Rhiou

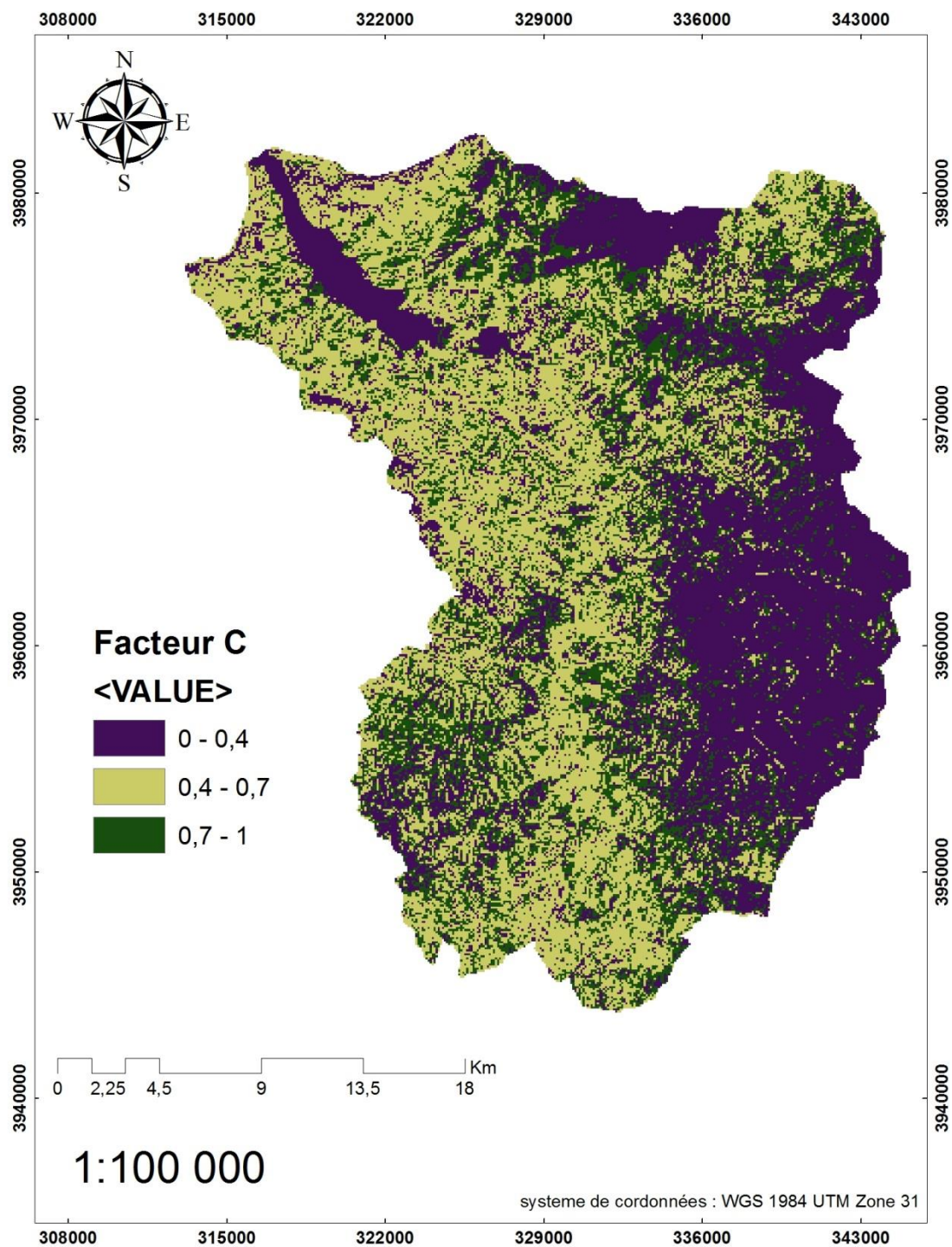


Figure n°25 : Carte de couvert végétale (facteur C)

IV.4.5 Calcul le facteur de travail de sol 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 (figure n°26), 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.

CHAPITRE IV .Estimation de l'érosion hydrique par l'application de l'équation universelle de pertes en sol (USLE) de bassin versant de l'Oued Rhiou

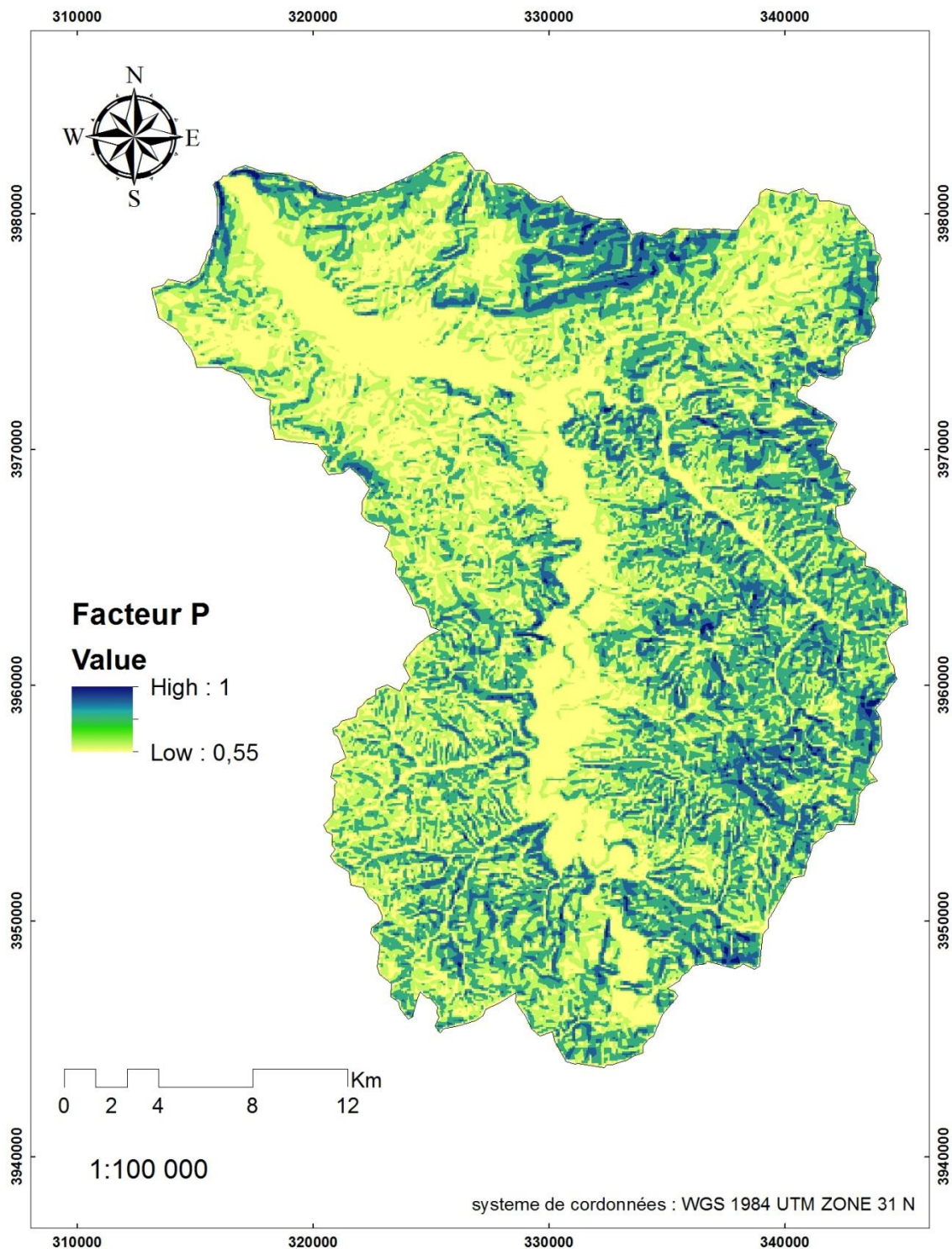


Figure n°26 : Cartes des pratiques antiérosives (facteur P)

IV.5 Résultats de l'estimation des pertes de sols :

La carte de perte en sol résultante de la superposition des cartes de facteurs du modèle USLE, notamment l'agressivité climatique R (ou érosivité des précipitations), l'érodibilité des sols K et l'effet combiné du degré et de la longueur de la pente LS, la couverture végétale C et les pratiques antiérosives P.

La combinaison et le traitement sous SIG par le logiciel ArcGis 10.3 de ces facteurs ont permis d'élaborer à l'échelle de bassin versant étudié la carte de risque d'érosion. (Figure n°27 et n°29)

Les résultats apportés dans le cadre de cette étude permettent de mettre en évidence les dynamiques d'érosion en nappe et rigoles sur le bassin versant de l'Oued Rhiou.

Le modèle USLE apporte une estimation moyenne potentielle des pertes de sols.

D'une manière générale, la végétation dégradée, les sols dénudés, les sols fragiles (marne et vertisol), les reliefs escarpés et des précipitations agressives contribuent fortement à augmenter l'emprise de l'érosion hydrique (plus de sédiments).

La carte de perte des sols montre que les valeurs varient entre 0 et > 52.36 t/ha/an, selon les zones du bassin versant.

La moyenne de perte est évaluée à $24,67$ t/ha/an ce qui est considéré comme élevé selon (Sadiki et al. 2004, Arabi et Roose, 1989).

Cette dernière a été confirmée par les travaux de TECSULT (2005) et Touaibia (2010) qui estiment une moyenne de $20,62$ t/ha/an dans le bassin versant de l'Oued Rhiou entre 1993-2000 et 25 t/ha /an dans les bassins versants Kef Eddir, Chellif, qui sont similaires (même nature géologique et même occupation du sol) au bassin de l'Oued Rhiou respectivement , et aussi par le travail de Kaci ; Habi et Morsli ,2017 qui estiment une moyenne de 25.26 t/ha/an .

Les valeurs maximales d'érosion $> 52,36$ t/ha/an sont observées et localisées selon la carte des pertes de sol (Figure n°27) dans les badlands et dans des terrains pentus avec des ravinements très poussés.

Selon notre enquête sur le terrain, ces zones correspondent généralement à des marnes ou à des sols peu évolués peu protégés et situés sur de fortes pentes à l'échelle du bassin versant. (figure n°28)

Les surfaces les plus érosives représentent 4310 ha (classe élevé à grave) confirmé par l'équation d'USLE qui détermine la valeur 33 comme valeur limite.

Le reste de la surface représentée par les autres classes (faible à modérée) sont susceptibles de délivrer des sédiments contribuant à l'envasement de plus en plus du barrage Gargar, chaque année.

CHAPITRE IV .Estimation de l'érosion hydrique par l'application de l'équation universelle de pertes en sol (USLE) de bassin versant de l'Oued Rhiou

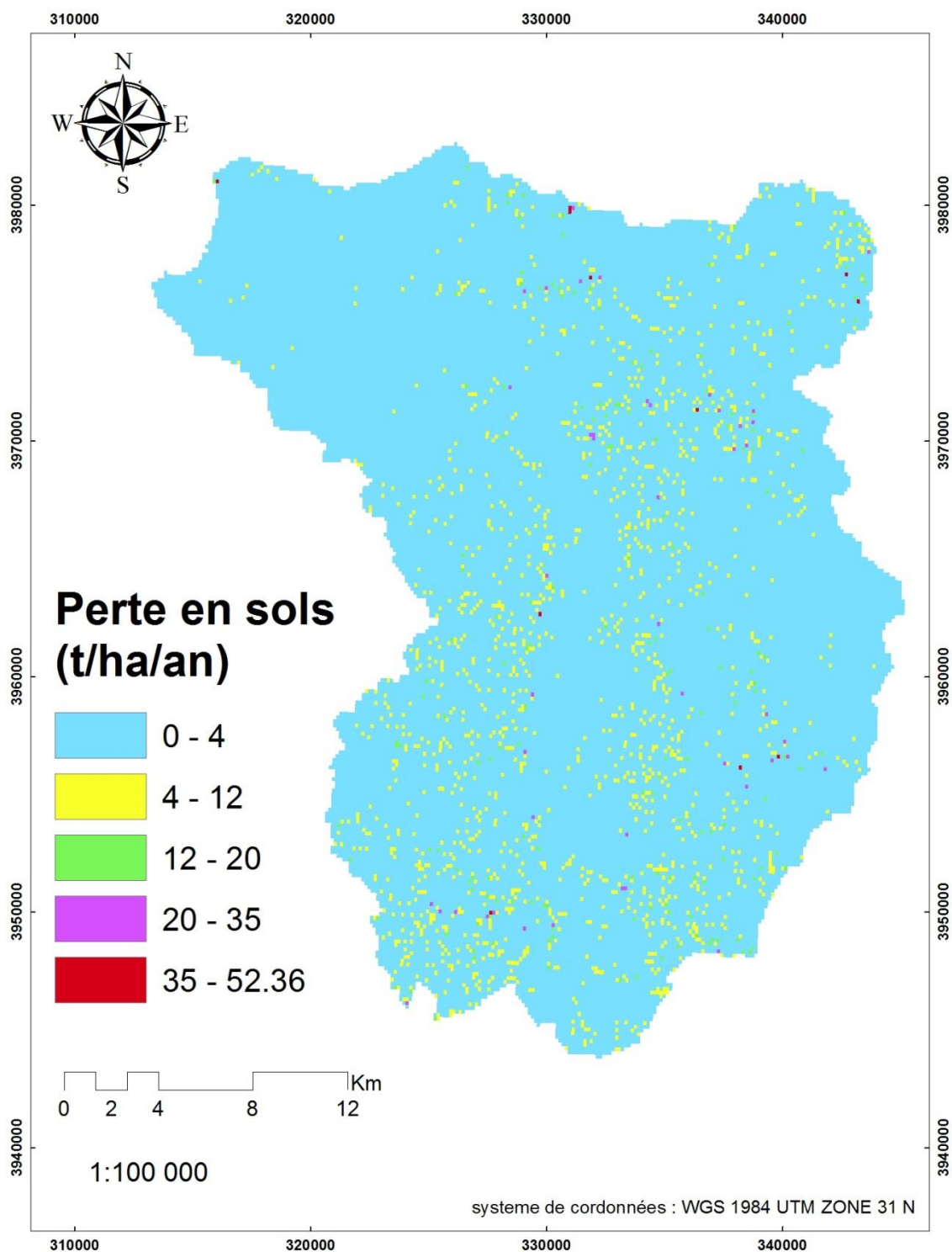


Figure n°27 : Carte d'estimation des pertes de sols par l'équation USLE de Bassin versant de l'Oued Rhiou .

CHAPITRE IV .Estimation de l'érosion hydrique par l'application de l'équation universelle de pertes en sol (USLE) de bassin versant de l'Oued Rhiou

Le modèle USLE ne tient pas compte des processus des matériaux sédimentaires, majoritairement dépendant de la compétence des cours d'eau.

Cette estimation ne donne en aucun cas une prédiction des apports, mais renseigne sur la quantité de matériaux potentiellement fournis par le bassin versant et présente donc sa dégradation actuelle.

La distribution statistique montre que 91,41% de la superficie du bassin versant révèle une sensibilité faible à modérée à l'érosion qui peuvent devenir élevée si des mesures de protection et de DRS (défense et restauration des sols) ne sont pas appliquées (tableau n°21 et figure n°27) tandis que 5.19 % une sensibilité très élevée (entre 33 et 52.36 t/ha/an) dont l'urgence est proposée.

La carte des classes des pertes en sol moyenne annuelle atteste d'une grande fragilité de la partie ouest et sud-ouest du bassin versant correspondant aux sols brun calcaire et les vertisols où les valeurs sont proches de 53 t/ha/an ou elles sont dominantes. Ces dernières couvrent environ 4000 ha ; (tableau n°21 et figure n°29)

Les faibles pertes (< 12 t/ha/an) dominent surtout les versants du bassin qui sont couverts d'un matorral à base de chênes verts et de reboisements à base de résineux.

Tableau n°21. Sensibilité des surfaces à l'érosion (ha) selon l'équation USLE

Surface totale	Faible à modérée	Modérée	Elevée	Grave
77000	70389	2301	310	4000

CHAPITRE IV .Estimation de l'érosion hydrique par l'application de l'équation universelle de pertes en sol (USLE) de bassin versant de l'Oued Rhiou



Figure n°28 : Erosion linéaire sur les sols de BV de l'Oued Rhiou

Le taux d'érosion très élevée signifie que le ruissellement est plus important mais l'érosion est la résultante de plusieurs facteurs.

L'effet conjoint des activités humaines et du climat sur les états de surface qui est à l'origine de cette variabilité hydrologique, car les états de surface ont changé considérablement en affectant la dynamique des processus d'infiltration et de ruissellement dans le bassin versant qui sont liés à l'occupation du sol.

Les pertes de sols moins importantes sont associées au couvert dense tel que les forêts de résineux.

A l'inverse, les valeurs plus élevées sont assignées aux sols nus ou sous couvert végétal dégradé ; cela est bien expliqué par HADEF (2013) suite à des analyses granulométriques et minéralogiques soit 62% de la composition de la vase du barrage de l'Oued Rhiou est une argile (montmorillonite à 70%, smectites à 30%), quasiment en provenance de sols très sensibles à l'érosion (vertiques et marneux) respectivement sous-sols nus et agriculture céréalière mise après récolte en jachère, provoquant une destruction de la couverture résiduelle et le tassement du sol par le pâturage des animaux .

Par ailleurs, le labour dans le sens de la pente (pratique traditionnelle souvent observée dans le bassin versant de l'Oued Rhiou a été le déclencheur de l'érosion en griffes (les sillons) qui devenir par la suite des ravines

Cette dégradation du sol suite à l'érosion hydrique est augmentée par l'action des premières pluies automnales torrentielles.

CHAPITRE IV .Estimation de l'érosion hydrique par l'application de l'équation universelle de pertes en sol (USLE) de bassin versant de l'Oued Rhiou

Le fort dynamisme de l'érosion a fortement affecté le barrage de Gargar, devenu de plus en plus menacé par l'envasement et susceptible de disparaître si ce phénomène continue à se développer sans la présence de mécanismes de protection des barrages. (figure n°29) .

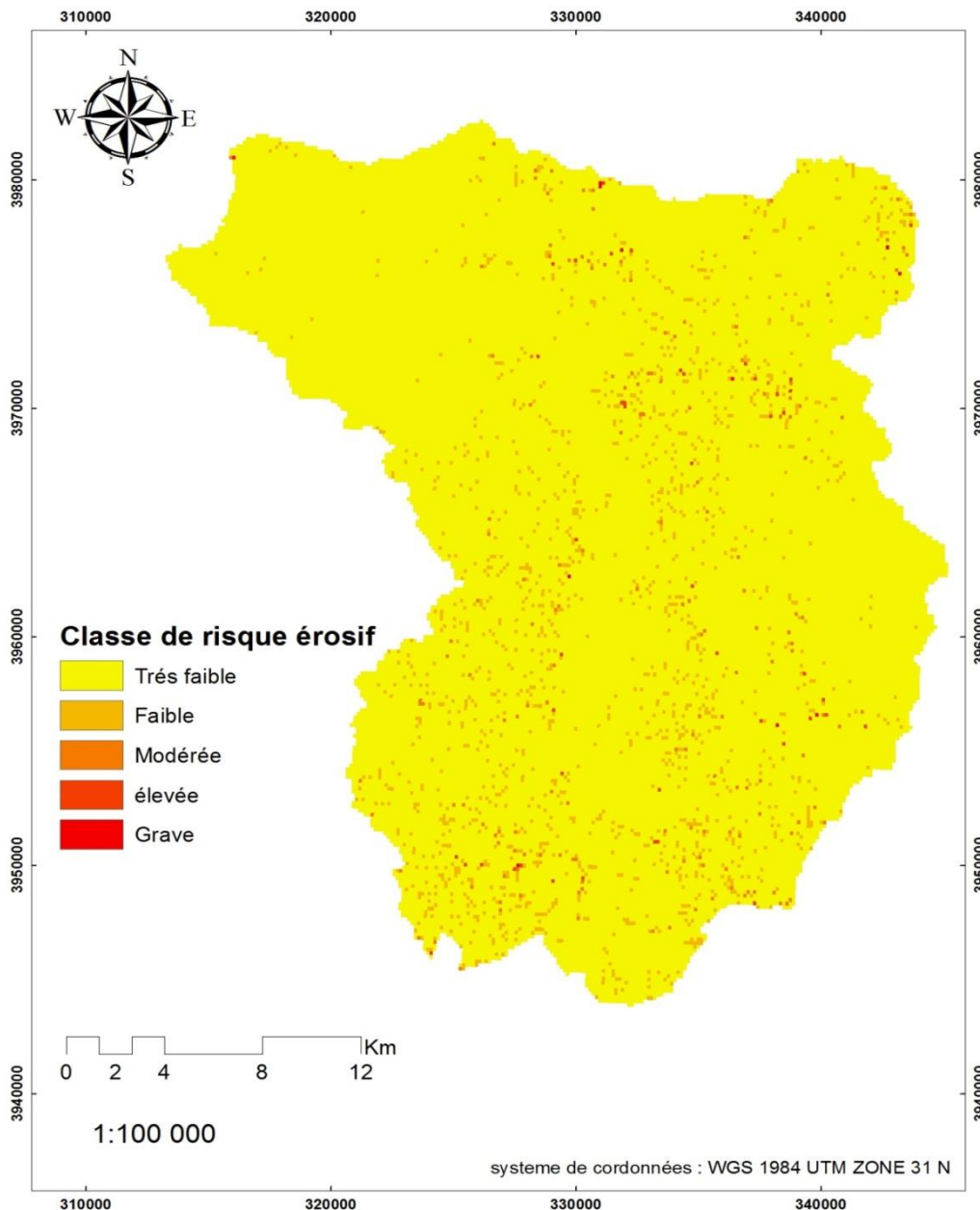


Figure n° 29 : Carte de classe de risque érosif

IV.6. Conclusion

L'objectif de cette étude était d'appliquer un modèle largement diffusé en occurrence le modèle USLE afin de montrer la dynamique érosive et les dégradations à l'échelle du bassin versant.

Ainsi, une modélisation de cette érosion hydrique des sols qui a été réalisée afin d'évaluer le risque d'envasement du barrage malgré la raréfaction des données, à l'échelle du bassin versant de l'Oued Rhiou .

Les cartes de synthèses de l'équation USLE du bassin versant sont un outil de travail précieux lors d'une planification éventuelle de la lutte antiérosive.

En effet, celles-ci ont été conçues pour qu'elles soient un outil simple mais efficace. Elles procurent rapidement des informations sur la répartition spatiale de tous les types d'érosion.

Pour le bassin versant de l'Oued Rhiou, la carte relative au classe de risque à l'érosion hydrique a mis en évidence des endroits où le risque est élevé , il s'agit des Badlands (figure n°30) où on a atteint le stade de non-retour et des endroits où le risque est faible à moyen qui correspond aux zones où il y a des cultures annuelles et des terrains incultes où il y a lieu d'agir à court et moyen terme par des méthodes de DRS (banquettes d'infiltration et des banquettes à profil amortis) ; de la correction torrentielle au niveau des oueds et impérativement changer les façons culturales et les reboisements dans les terrains pentus.

Donc, ces informations permettent aussi d'identifier les zones qui sont prioritaires où il y a lieu d'intervenir à court terme .

En perspective, vu la dynamique rapide de l'occupation du sol, il serait possible d'envisager un suivi dans le temps et dans l'espace des facteurs C, K, R afin d'affiner l'estimation des pertes de sols.



Figure n°30 : Erosion accéléré dans le bassin versant de l'Oued Rhiou

Conclusion générale :

Les bassins versants des régions arides et semi arides, sont caractérisées par des périodes de sécheresse longues suivies par des pluies torrentielles automnales, sur des sols friables d'où risque de déclenchement des processus d'érosion.

Le phénomène de l'envasement est devenu un risque qui menace sérieusement la capacité des barrages, dans les régions où les ressources en eau représentent un enjeu important. C'est l'une des conséquences la plus dramatique de l'érosion hydrique.

Situé dans la wilaya de Relizane , l'ouvrage de Gargar est important pour l'alimentation d'eau potable dans la wilaya de Relizane et Oran et l'irrigation agricole dans la plaine du Chélif, d'une capacité de stockage initiale de 450 Hm³ en 1988.

Sa capacité a régressé considérablement à 96,809 Hm³ en 2021 (ANBT). Il est exposé à des facteurs accrus de réduction de la capacité de stockage, notamment pour les années à venir. Il est sérieusement menacé par les dépôts successifs de sédiments.

L'exploitation du barrage de Gargar ne pourra pas dépasser 2039, selon nos calculs à partir du levé bathymétrique.

Il est temps de procéder à l'aménagement du bassin versant par des corrections torrentielles et le suivi des consignes de soutirage afin d'accroître la sa durée de vie.

Ce constat a confirmé l'urgence de ces actions suite à notre étude dont l'objectif principal est la quantification de l'érosion hydrique par l'application de modèle USLE qui permet d'identifier les zones prioritaires ou il y a lieu d'intervenir dans le bassin versant de l'Oued Rhiou .

L'équation Universel des pertes des sols (USLE) est l'un des modèles les plus adaptés pour l'estimation quantitative annuelle de l'érosion hydrique potentielle des sols.

En effet , les résultats de notre travail montre que les valeurs des pertes annuelles en sol varient entre 0 et > 52.36 t/ha/an selon les zones

du bassin versant avec une moyenne évaluée à 24,67 t/ha/an ce qui est considéré comme élevé , en même temps , un taux d'envasement de 5.55 Hm³/An , le volume de vase est de 166.507 Hm³ , un chiffre énorme qui confirme l'ampleur du risque envasement de l'ouvrage .

Par conséquent, vu l'état actuel du barrage (diminution de l'eau utile et augmentation du volume mort à savoir la vase), on ne peut envisager des opérations de dragage sans qu'elles soient accompagnées des opérations de DRS en amont du barrage ; en occurrence le bassin versant de l'Oued Rhiou.

En conclusion, nous avons mené cette étude afin de rappeler la nécessité des interventions à court ; moyen et long terme. Urgence est nécessaire au niveau du barrage vu que le phénomène d'envasement a dépassé les normes et devenu un risque c'est-à-dire perdre une importante source d'eau dans la région.

Ce phénomène doit être pris en compte par les collectivités locales pour prendre les dispositions nécessaires afin de garantir sa survie.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

DOCUMENT INTERNES

-ANBT , Agence national des barrages et transferts Oued Rhiou , données internes .

MEMOIRE DE MASTER

-ASNOUNI Anissa , 2017 : Contribution à l'étude des aménagements antiérosifs dans le bassin versant de l'Oued R'hiau (wilaya de Relizane). 66 p. Université Abou Bekr Belkaid – Tlemcen

-ASRI Abir , 2017 : Cartographie de vulnérabilité à l'érosion hydrique du bassin versant d'Oued Zeddine (W.Ain Defla)

AZZI farah , 2017 : Contribution à l'étude prédictive de l'envasement et la durabilité de barrage du Ghrib 72 p

- BENHOCINE Abdelhakim et sofiane MEGHAOUZEL , 2020 : Etat actuel des barrages du bassin hydrographique de cheliff-Zahrez

- BOUGHAZI Safaa , 2018 : gestion de la ressource en eau du système hydrique MAO – MACTA , 67 p

- HAMDY Aboubakeur Seddik , 2016 : Estimation de l'érosion hydrique au maghreb et l'application sur le bassin versant Oued Troche , ECOLE

NATIONALE SUPERIEURE D'HYDRAULIQUE –ARBAOUI Abdellah-

- LAHMAR Sarra et Mahdjoub Asmaa , 2018 : Aménagement d'un parc de loisirs au niveau du barrage de GARGAR , Université Abd Elhamid Ibn Badis De Mostaganem

- MAHI El Amin , 2017 : Etude des Caractéristiques Morpho métriques du bassin versant des côtières oranais , 72 p

MEMOIRE DE MAGISTER

- ASNOUNI salah , 2009 : الدور الإقليمي لسد قرقر ولاية غليزان الجزائر ، جامعة وهران 2

- BESSAADA sofiane , 2005 : appréciations des risques potentiels et actuels d'érosion dans le micro bassin versant de sidi hamadi (commune d'el ancor , wilaya d'oran) 120 p , Université Oran 2

- DAHMEN abdelrazek , 2015 : توظيف نظم المعلومات الجغرافية في دراسة الحوض السفحي حالة واد المالح (ساحل عين تموشنت)، جامعة وهران 2

THESE DE DOCTORAT

- BOUZERIA Housseyn , 2018 : Quantification et modélisation des transports solides, cartographie des zones à risques d'érosion hydrique à partir d'une base de données gérée par un SIG : application aux bassins de Bounamoussa et Mellah (Nord-Est algérien)

- HAOUES Cherif , 2017 : Étude des risques majeurs et niveau de vulnérabilité dans la vallée de l'oued Labiod (spatialisation et modélisation) . UNIVERSITE DE BATNA 2 -Mostefa BEN BOULAID

- HADEF B , 2013 : Caractérisation de la vase de dragage du barrage de l'oued Rhiou et valorisation en tant que matériau de construction. Thèse Doct. d'Etat, Alger, 230 p.
- SOUADI youssef , 2011 : l'érosion hydrique au maghreb étude d'un cas : le bassin versant de l'Oued Barbara (Tunisie septentrionale)
- TOUAIBIA B., 2010 : Problématique de l'érosion et du transport solide en Algérie septentrionale. Sécheresse

LES ARTICLES

- KARA Benyekhlef et Nemdili Ali ,2014 : Les mesures préventives de lutte contre l'envasement des barrages
- KACI Malik et Mohamed HABI et Boutkhil MORSLI , 2017 : Estimation de l'érosion hydrique par l'application de l'équation universelle de pertes en sol (USLE). Cas du bassin versant non jaugé de l'Oued Rhiou, (Bassin de Cheliff) Algérie
- REMINI B et BENSALIA D , 2002 : Envasement des barrages dans les régions arides exemples algériens . Larhyss Journal, ISSN 1112-3680, n°27
- REMINI B , 2017 : Une nouvelle approche de gestion de l'envasement des barrages a new management approach of dams siltation
- REMINI B , 2015 : le barrage reservoir de Gargar est – il menacé par l'envasement ?
- CHADI Abdelmadjid et tahar HADJI : Erosion des sols et envasement des barrages
- G.J. Wall, D.R. Coote, E.A. Pringle et I.J. Shelton , (Document final basé sur la version provisoire de 1997) : Équation universelle révisée des pertes de sol pour application au Canada Manuel pour l'évaluation des pertes de sol causées par l'érosion hydrique , Canada CRECO - Numéro de contribution 02-92, AAFC Numéro de contribution AAFC/AAC2244F .
- Roose, E (1996) : Érosion en nappe et ruissellement en montagne méditerranéenne algérienne.
- TECSULT, 2005 : Étude de la protection des bassins versants de l'ensemble des barrages en études d'Avant-Projet Détaillé (lots nos 1 à 4) et des bassins versants des barrages en exploitation Barrages Lag, Cheliff et Kef-Eddir, 52p.
- TADRIST nassima et Olivier DEBAUCHE et Boualem REMINI et Dimitri XANTHOULIS et Aurore DEGRE , 2016 : Impact de l'érosion sur l'envasement des barrages, la recharge des nappes phréatiques côtières et les intrusions marines dans la zone semi-aride méditerranéenne : cas du barrage de Boukourdane (Algérie)
- Panagos P., Borrelli P., Meusburger K., Yu B., Klik A., Lim K.J., Yang J.E, Ni J., Miao C., Chattopadhyay N., Sadeghi S.H., Hazbavi Z., Zabihi M., Larionov DV., Oliveira P.T.S., Bonilla C.A., Meddi M., Nel W., Dashti H., Boni M., Diodato N., Van Oost K., Nearing M.A., Ballabio C , 2017 : Global rainfall

erosivity assessment based on high-temporal resolution rainfall records. Scientific Reports 7: 4175. DOI: 10.1038/s41598-017-04282-8 .
- Wischmeier (1978). Predicting rainfall erosion losses, aguide to conservation planning. Agricultur Hand- Book. N°537.USA

LES BASSES DES DONNES

- FAO Digital Soil Map of the World (DSMW) , food and agriculture organization .

- GloREDA ,Global rainfall erosivity assessment based on high-temporal resolution rainfall records. Scientific Reports 7: 4175. DOI: 10.1038/s41598-017-04282-8 .

ANNEXES

La loi n°05-12 du 28 Joumada Ethania 1426 correspondant au 4 Aout 2005 relative à l'eau.

De la protection et de la préservation des ressources en eau.

Article 30-la protection et la préservation des ressources en eau sont assurées par :

Des périmètres de protections quantitatives.

Des plans de lutte contre l'érosion hydrique.

Des périmètres de protections qualitatives.

Des mesures de prévention et de protection contre les pollutions.

Des mesures de prévention des risques d'inondations.

Le deuxième chapitre de cette loi prend en considération la lutte contre l'érosion hydrique pour éviter le mieux possible la problématique d'envasement dans les articles 34 , 35 , 36 , 37 .

Art. 34. Pour prévenir et limiter l'envasement des retenues d'eau superficielle par sédimentation et assurer la conservation de leur capacité utile, il est procédé à la délimitation de périmètres de lutte contre l'érosion hydrique dans les bassins-versants en amont des dites retenues.

Pour chaque périmètre retenu et délimité en fonction de l'intensité de l'érosion hydrique des sols des bassins-versants, il est établi un plan d'aménagements antiérosifs concerté entre les administrations, les organismes et les représentants des populations concernées, en vue d'assurer la conservation des eaux et des sols et de réduire les risques de dégradation des écosystèmes menacés.

Les conditions et les modalités de délimitation des périmètres de lutte contre l'érosion hydrique ainsi que les procédures d'élaboration, d'approbation et de suivi de la mise en œuvre des plans d'aménagements antiérosifs sont fixées par voie réglementaire.

Art. 35. Dans les zones caractérisées par une forte érosion hydrique provoquant un envasement accéléré des retenues d'eau superficielle, les plans d'aménagements antiérosifs peuvent instaurer toutes mesures visant à :

- promouvoir l'utilisation de techniques culturales ou d'élevage permettant une meilleure protection des sols ;
- l'interdiction de toute intervention susceptible d'endommager les ouvrages de conservation des eaux et des sols ;
- la suppression de tous obstacles naturels ou artificiels établis dans les exploitations agricoles ou forestières et susceptibles de gêner la réalisation des travaux d'aménagement tels que le reboisement, le développement du couvert végétal, la protection des berges d'oueds, les

opérations de correction torrentielle et toutes autres actions antiérosives.

Art. 36. Les interventions et travaux effectués dans le cadre des plans d'aménagements antiérosifs, élaborés et adoptés conformément à la législation et à la réglementation en vigueur, ainsi que les mesures temporaires ou définitives y afférentes peuvent ouvrir droit à une indemnité au profit des propriétaires concernés en fonction des préjudices causés.

Art. 37. Des aides et avantages de toute nature peuvent être accordés aux particuliers qui mettent en œuvre des techniques de conservation des eaux et des sols et de lutte contre l'érosion hydrique dans les bassins-versants de retenues d'eau superficielle.