

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF - M'SILA

FACULTE DE TECHNOLOGIE
DEPARTEMENT D'HYDRAULIQUE
N° :



DOMAINE : TECHNOLOGIE
FILIERE : HYDRAULIQUE
OPTION : OUVRAGE HYDRAULIQUE

**Mémoire présenté pour l'obtention
Du diplôme de Master Académique**

Par: Mehenni Mohammed El Ghazali

Zellouf Ahmed

Intitulé

**Evaluation et cartographier de la susceptibilité à
l'érosion par l'utilisation de SIG et la méthode
AHP dans le sous bassin versant de l'oued
Sahel (Soummam)**

Soutenu devant le jury composé de:

HASBAIA Mahmoud	Université de M'sila	Président
MOKHTARI Elhadj	Université de M'sila	Encadreur
ABDELKEBIR Brahim	Université de Guelma	Co-Encadreur
HAMIDOU Mohamed	Université de M'sila	Examineur

Année universitaire : 2022 /2023

Remerciements

*Nous voulions prendre un moment pour exprimer
notre gratitude et nos sincères remerciements à
tous ceux qui ont contribué la réalisation de notre
mémoire de master.*

*Nous devons également remercier notre
encadreur Dr MOKHTARI Elhadj et notre co-
encadreur Dr ABDELKEBIR Brahim pour leurs
conseils.*

*Comme nous tenons à remercier les membres du
jury d'avoir accepté
d'examiner et juger notre travail.*

*Un grand merci à notre famille et à nos amis
pour leur soutien et leur encouragement.*

Dédicace

Je dédie ce modeste travail en signe de respect et de reconnaissance à :

Mon cher père, Ma chère mère, pour les sacrifices tout au long de ma vie.

Chers professeurs

Toute ma famille

Tout mes frères

Mes camarades de la promo d'hydraulique

De 2022/2023

Mon cher binôme Mohamed El Ghazali et sa famille. Et à tous ceux que j'ai connus dans ma carrière universitaire.

Merci

Dédicace

Je dédie ce mémoire :

A mes parents pour leur encouragement et leur support.

A tous mes frères et sœurs.

Et à tous ceux qui nous ont aidés de près ou de loin.

*A mes amis qui m'ont encouragé et aidé pour la réalisation de cet
humble travail*

Mon cher binôme Zellouf Ahmed et sa famille.

Et à tous ceux que j'ai connus dans ma carrière universitaire.

Merci

ملخص:

التعرية المائية مشكلة خطيرة تهدد سلامة الجميع في المناطق المأهولة والأراضي الزراعية وفي المناطق المجاورة لها مباشرة في دول البحر الأبيض المتوسط بما في ذلك الجزائر. حوالي 6 ملايين هكتار معرضة للتعرية. الهدف الرئيسي من هذه الدراسة هو تقييم وتخطيط الانجراف المائي من خلال الجمع بين طريقة المعايير المتعددة (AHP) ونظام المعلومات الجغرافية في متجمعات المياه في وادي الساحل (صومام). ستساعد نتائج هذا التحليل في ترتيب المناطق المدروسة وتحديد الأولوية لمكافحة الانجراف.

Résumé :

L'érosion hydrique est un sérieux problème qui menace la sécurité de tous dans et a proximité directe des milieux habités et des terres agricoles dans les pays de méditerranée y compris l'Algérie. Environ 6 millions d'hectares sont exposés à l'érosion. l'objectif principal de cette étude est de l'évaluation et la cartographie de l'érosion hydrique par la combinaison de la méthode multicritère (AHP) et le système d'information géographique dans le bassin versant de l'oued sahel (Soummam). Les résultats de cette analyse aideront à classer les zones étudiées et à déterminer la priorité pour le contrôle de l'érosion.

Abstract:

Water erosion is a serious problem that threatens the safety of all in and in the direct vicinity of inhabited areas and agricultural lands in Mediterranean countries including Algeria. About 6 million hectares are exposed to erosion. the main objective of this study is to assess and map water erosion by the combination of the multi-criteria method (AHP) and the geographic information system in the watershed of the sahel wadi (Soummam). The results of this analysis will help to rank the areas studied and determine priority for erosion control.

SOMMAIRE

Liste des figures

Liste des tableaux

Introduction générale : 1

Chapitre I. Recherche bibliographiques sur l'érosion

Introduction :	2
I.1. Notions sur l'érosion du sol :	2
I.2. Définition l'érosion hydrique :	2
I.3. Les processus de l'érosion hydrique	3
a. Le détachement	4
b. Transport	5
c. Le Dépôt	8
I.4. Type d'érosion :	8
I.4.1 L'érosion éolienne	8
I.4.2 L'érosion Hydrique	9
I.4.3 L'érosion des sols	10
I.5. Facteurs influents l'érosion	10
I.5.1 Le climat	10
I.5.2 La nature du sol	10
I.5.3 La topographie	11
I.5.4 Couvert végétal	11
I.5.5 Activités humaines	11
I.6. Conséquences de l'érosion hydrique	11
I.6.1 Perte de sol	11
I.6.2 Dégradation de la qualité de l'eau	11
I.6.3 L'envasement des barrages	12
I.7. Approches et méthodes de quantification de l'érosion hydrique	12
I.7.1 Mesures de terrain	12
I.7.2 Recherche d'indicateurs d'érosion	12
I.7.3 Modélisation physique	12
I.7.4 Méthodes et approches existantes	12
I.8. Conclusion :	14

Chapitre II. Etude descriptive du bassin versant

Introduction	14
II.1. Définitions du bassin versant	14
II.1.1 Le bassin fonctionnel	14
II.1.2 Bassin topographique	14
II.2 Situation géographique du bassin versant de l'oued sahel (Soummam)	14
II.3. Les conditions climatiques de la région	17

II.3.1 Le climat littoral	17
II.3.1 Le couvert végétal	17
II.3.3 Géologie	18
II.3.4 Les sols	19
II.3.5 Caractéristiques physiques	20
II.4. Paramètres hydrographiques	20
II.4.1 Périmètre du bassin (P)	20
II.4.2 Superficie du bassin (A).....	20
II.4.3 L'indice de compacité de Gravelius (KG).....	20
II.4.4 Le rectangle équivalent	21
II.4.5 La longueur du rectangle équivalent	21
II.4.6 La largeur du rectangle équivalent	21
II.4.7 Forme du bassin	21
II.4.8 Rapport de circularité de Miller (1953) (RC)	21
II.4.9 Facteur de forme (FF)	22
II.5. Le réseau hydrographique	22
II.6. Paramètres du relief	23
II.6.1 Les altitudes caractéristiques.....	23
II.6.1.1 L'altitude moyenne:	23
II.6.1.2 L'altitude médiane	23
II.6.1.3 Les altitudes maximales et minimale	23
II.7. La courbe hypsométrique	24
II.7.1 Indices de pente globale	25
II.7.2 La densité de drainage (Dd)	25
II.7.3 Coefficient de torrencialité	25
II.7.4 Temps de concentration.....	26
Conclusion.....	28

Chapitre III. Cartographie de la susceptibilité à l'érosion hydrique

Introduction :	29
III.1. Méthodologie	29
III.2. Préparation et extraction des données	31
III.3. Cartes d'inventaire de l'érosion des sols	31
III.4. Facteurs d'érosion	33
III.4.1 Erosivité	33
III.4.2 La pente	34
III.4.3 Altitude	35
III.4.4 Indice d'humidité topographique	35
III.4.5 Occupation du sol	35
III.4.6 Erodibilité	36
III.4.7 Indice de végétation par différence normalisé (NDVI)	37
III.4.8 Facteur de conservation (P)	38
III.4.9 Densité de drainage.....	39
III.5. Méthode Hiérarchique Multicritère (AHP)	41
III.5.1 Principe de la Méthode	43
III.5.1.1 Fondements de la méthode	44
III.6. Validation de la carte de susceptibilité à l'érosion hydrique	46
Conclusion :	68
Conclusion générale	
Références bibliographiques	

Liste des Figures

Chapitre I

Figure I. 1. Processus de l'érosion hydrique	3
Figure I. 2. Les stades de dégradation de la surface du sol sous l'action des pluies	5
Figure I. 3. Diagramme de Hjulström	7
Figure I. 4. Mode de transport des particules dans les cours d'eau.....	7
Figure I. 5. Photo réel sur l'érosion éolienne.....	9

Chapitre II

Figure II. 1. Localisation du bassin versant de l'oued sahel (Soummam).....	15
Figure II. 2. Les sous bassins versants de l'oued sahel (Soummam)	16
Figure II. 3. Carte des sols du bassin versant de l'oued sahel (Soummam)	19
Figure II. 4. Carte du réseau hydrographique du bassin de l'oued sahel (Soummam)	22
Figure II. 5. Courbe hypsométrique du bassin de la Soummam.....	24

Chapitre III

Figure III. 1. Organigramme de la méthode de l'AHP	30
Figure III. 2. Cartes d'inventaire de l'érosion.....	32
Figure III. 3. Carte d'érosivité (R)	Erreur ! Signet non défini. 3
Figure III. 4 . Carte de pente	Erreur ! Signet non défini.
Figure III. 5. Carte de MNT	35
Figure III. 6. Carte Indice d'humidité topographique (LS)	36
Figure III. 7. Carte occupation de sol. (C).....	37
Figure III. 8. Carte érodibilité de sol.....	38
Figure III. 9. Carte Indice de végétation par différence normalisé (NDVI)	39
Figure III. 10. Carte de l'aménagement (P).....	40
Figure III. 11. Carte densité de drainage (DD)	41
Figure III. 12. Carte d'érosion par méthode AHP du bassin versant oued sahel (Soummam).....	49
Figure III. 13. Courbe ROC	50

Liste des Tableaux

Chapitre II

Tableau II. 1. Superficie des sous bassins versants de l'oued sahel (Soummam)	17
Tableau II. 2. L'indice de compacité de Gravelius (KG)	21
Tableau II. 3. facteur de forme (FF)... ..	22
Tableau II. 4. Caractéristiques géométriques et hydromorpho métriques du bassin de L'oued sahel	27

Chapitre III

Tableau III. 1. Sources des données utilisées dans l'étude	31
Tableau III. 2 Echelle à 9 valeurs de saaty.....	42
Tableau III. 3. Valeur de l'indice aléatoire IA	43
Tableau III. 4. Matrice par paires de susceptibilité à l'érosion	44
Tableau III. 5. La matrice normalisée de susceptibilité à l'érosion.....	45
Tableau III. 6. Matrice de comparaison des classes de facteur R	46
Tableau III. 7. Matrice de comparaison des classes de facteur de pente	46
Tableau III. 8. Matrice de comparaison des classes de facteur MNT	46
Tableau III. 9. Matrice de comparaison des classes de facteur LS	47
Tableau III. 10. Matrice de comparaison des classes de facteur C	47
Tableau III. 11. Matrice de comparaison des classes de facteur K	47
Tableau III. 12. Matrice de comparaison des classes de facteur NDVI	48
Tableau III. 13. Matrice de comparaison des classes de facteur P	48
Tableau III. 14. Matrice de comparaison des classes de facteur DD	48
Tableau III. 15. Répartition de l'érosion dans le bassin versant	49

Introduction générale

Introduction générale

L'érosion est un phénomène naturel qui façonne et modifie la surface de la Terre au fil du temps. Elle peut être causée par divers facteurs tels que l'eau, le vent, la glace et les activités humaines. L'érosion se présente sous différentes formes, notamment l'érosion hydrique, l'érosion éolienne, l'érosion glaciaire et l'érosion liée aux activités humaines. Bien que l'érosion puisse avoir des aspects bénéfiques, comme la création de paysages naturels magnifiques tels que les canyons, les montagnes et les plages, elle peut également entraîner des problèmes environnementaux, économiques et sociaux dans certaines situations. Les activités humaines, telles que l'agriculture intensive, la déforestation, l'urbanisation et la construction de barrages, jouent un rôle essentiel dans l'accélération du processus d'érosion. Ces activités contribuent à l'élimination de la végétation protectrice du sol, à la modification des cours d'eau et à la perturbation des écosystèmes naturels, ce qui peut entraîner la perte de terres agricoles fertiles, la dégradation de la qualité de l'eau, la destruction des habitats naturels et la détérioration des paysages.

Le but de cette étude est de cartographier la susceptibilité à l'érosion hydrique dans le bassin versant de Sahel (Soummam) et ce, par la méthode hiérarchique multicritères (AHP) dans un système d'information géographique (SIG).

Afin de mieux appréhender l'érosion et ses impacts, il est primordial de réaliser une recherche bibliographique approfondie sur le sujet. Le chapitre 1 de cette étude sera donc consacré à une revue de la littérature existante sur l'érosion, en examinant les travaux scientifiques et les études antérieures réalisées dans ce domaine. Le chapitre 2 se concentrera sur une étude descriptive du bassin versant. L'objectif sera d'analyser les caractéristiques du bassin versant, telles que sa topographie, sa géologie, sa végétation et son utilisation des sols, afin de mieux comprendre les conditions préexistantes à l'érosion dans la région étudiée. Dans le chapitre 3, nous aborderons la cartographie de la susceptibilité à l'érosion hydrique. Cette étape permettra d'identifier les zones les plus exposées à l'érosion dans le bassin versant, en prenant en compte différents facteurs de vulnérabilité, tels que la pente du terrain, la densité du réseau hydrographique, l'utilisation des sols et la couverture végétale.

Chapitre I. Recherche bibliographiques sur l'érosion.

Chapitre I. Recherche bibliographique sur l'érosion

Introduction :

Ce chapitre vise à effectuer une recherche bibliographique approfondie sur l'érosion en s'appuyant sur des travaux de recherche et des études antérieures réalisées par des experts dans le domaine. L'objectif est d'explorer les multiples aspects de l'érosion, tels que ses causes, ses processus, ses conséquences, ainsi que les mesures préventives et d'atténuation pouvant être mises en œuvre.

I.1. Notions sur l'érosion du sol :

L'érosion est un phénomène naturel complexe de dégradation des sols qui menace particulièrement les ressources en eau et en sol. Il regroupe l'ensemble des processus externes qui entraînent la disparition partielle ou totale des terrains existants et modifient le relief. L'érosion peut être définie comme le détachement et le transport de particules de sol depuis leur emplacement d'origine vers un lieu de dépôt, sous l'action de divers agents (Laflen et Roose, 1997). [1] Selon la FAO-ONU (1965) [2], on peut distinguer deux types d'érosion : l'érosion de masse et l'érosion superficielle. L'érosion de masse englobe toutes les formes d'érosion dans lesquelles les particules se déplacent en masse, principalement sous l'effet de la pesanteur. Cela inclut généralement différents types de glissements de terrain, ainsi que des formes d'érosion non liées aux précipitations, telles que la solifluxion sèche. L'érosion superficielle, quant à elle, correspond à la mise en mouvement des particules de sol par des forces autres que la pesanteur, telles que l'écoulement de l'eau à la surface du terrain et l'impact des gouttes de pluie. Dans le cadre de nos travaux sur l'érosion des sols, nous nous concentrons principalement sur les processus d'érosion physique responsables du détachement, du transport et de la sédimentation des particules de sol, sous l'effet de l'eau (érosion hydrique).

I.2. Définition l'érosion hydrique :

L'érosion hydrique du sol peut se définir comme étant le phénomène par lequel le sol perd, sous l'action de l'eau, certaines ou toutes ses particules. Cette érosion se développe lorsque les eaux de pluie, ne pouvant plus s'infiltrer dans le sol, ruissellent sur la parcelle en emportant les particules de terre. Ce refus du sol d'absorber les eaux en excédent apparaît soit lorsque l'intensité des pluies est supérieure à l'infiltrabilité de la surface du sol, soit lorsque la pluie arrive sur une surface partiellement ou totalement saturée par une nappe

(INRA et IFEN, 2002)[3]. Selon Demangeot, (1994) [4] l'érosion hydrique consiste en une dissociation des matériaux rocheux ou terreux, ensuite en un transport et dépôt des débris arrachés. La dissociation peut se faire sous forme chimique (altération chimique et dissolution) ou physique (désagrégation mécanique et enlèvement des débris). L'érosion hydrique dépend de la présence simultanée de plusieurs facteurs qui sont la topographie, le type de formation meuble, le type de sol, la couverture végétale, l'agressivité climatique et l'action anthropique.

I.3. Les processus de l'érosion hydrique [16] :

L'érosion hydrique est un type d'érosion qui partage les mêmes processus communs à tous les types d'érosion: hydrique (eau), éolienne (le vent), glaciaire (la glace) ou gravitaire (la gravité). En réalité, les différents types d'érosion dépendent de la gravité qui agit sur l'eau (hydrique), sur les masses atmosphériques (éolienne), sur les masses de glace (glaciaire) et sur les solides (gravitaire). Les trois processus sont :

- a. Le détachement,**
- b. Le transport,**
- c. Le dépôt.**

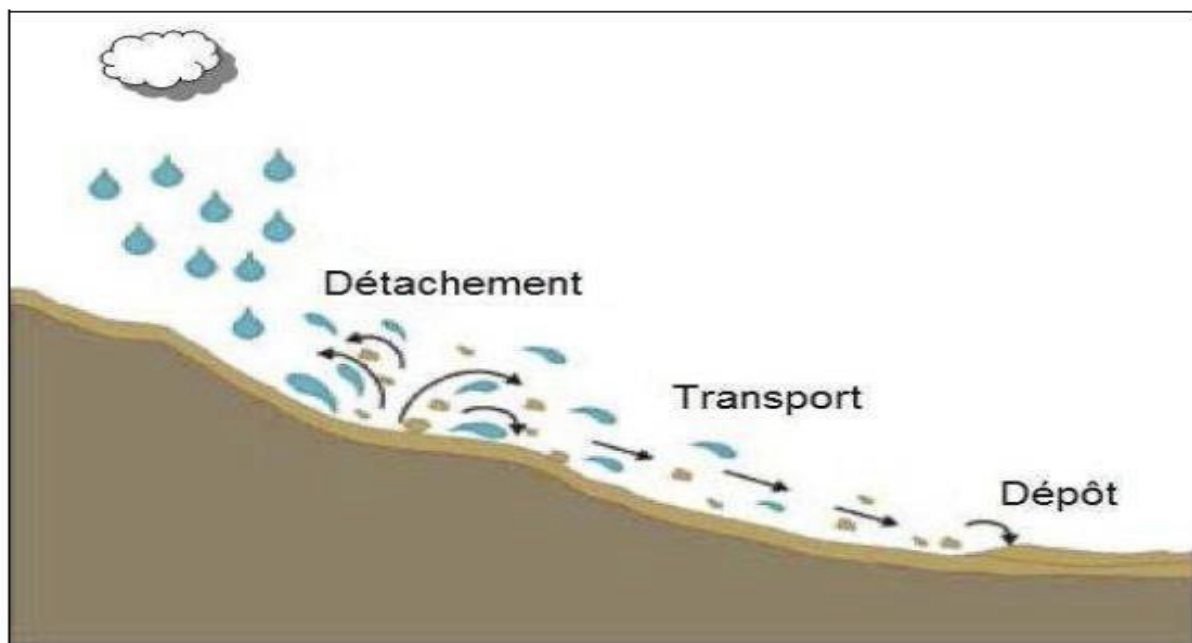


Figure I. 1.Processus de l'érosion hydrique [17]

a. Le détachement :

Depuis longtemps, la pluie est reconnue comme un agent crucial dans le processus d'érosion des sols. Les gouttes de pluie apportent de l'énergie et de l'eau, ce qui entraîne la désagrégation des agrégats à la surface du sol, le détachement de fragments de sol, et leur transfert. Il y a deux façons principales dont le détachement des particules de surface se produit : la première est le rejaillissement des particules sous l'impact des gouttes de pluie (splash). Dans ce cas, cela se produit sur toute la surface exposée aux précipitations. L'intensité du détachement est principalement contrôlée par l'énergie cinétique des gouttes de pluie, qui est fortement liée à l'intensité des précipitations et qui varie en fonction de la couverture végétale ainsi que des caractéristiques du sol, telles que la texture et le taux de matière organique du splash.

L'impact des gouttes de pluie brise les agrégats du sol en éléments plus fins, ce qui conduit progressivement à la formation d'une croûte superficielle, également appelée "croûte de battance" (Figure I.2), d'une épaisseur de quelques millimètres. Cette croûte réduit considérablement l'infiltration de l'eau dans le sol. Par conséquent, lorsque le sol ne peut plus absorber les précipitations, l'excès d'eau s'accumule à la surface, formant des flaques, puis s'écoule, entraînant éventuellement des particules de sol et des nutriments.

La surface du sol est constituée d'éléments déformables et mobiles, tels que des micro-agrégats (inférieurs à 250 µm), des macro-agrégats composés de plusieurs micro-agrégats (1-2 mm) et des particules élémentaires. L'impact des gouttes de pluie a pour effet de désagréger ces éléments à la surface du sol, créant ainsi des agrégats de taille réduite et des particules élémentaires. Ces particules ainsi désagrégées sont ensuite détachées et éjectées par l'impact des gouttes de pluie. La distance moyenne de projection des particules peut atteindre de 10 à 20 cm [18], ce qui est bien plus important que ce que l'observation visuelle du phénomène suggère.

De nombreuses études sur l'érosion ont intégré plusieurs paramètres liés à la pluie, tels que l'intensité, la vitesse, la forme et le diamètre des gouttes, ainsi que l'énergie cinétique, pour modéliser cette composante de l'érosion. Par conséquent, les relations entre l'érosion et la pluie sont souvent basées sur des résultats empiriques issus d'expériences et de paramètres empiriques. [19]

Parmi les paramètres du sol qui semblent influencer le détachement du sol sous l'impact des gouttes de pluie, on retrouve la stabilité et le diamètre des agrégats, la densité apparente, le

potentiel matriciel et la force de cisaillement du sol [20]. La deuxième forme de détachement est liée à la force tractrice des écoulements. En fonction de l'énergie du ruissellement apparaissent des incisions linéaires, plus ou moins espacées, que l'on appelle griffes, rigoles ou ravines, selon leur dimension, inhérentes aux irrégularités de la topographie et/ou induites par les activités agricoles. L'importance du flux de détachement est alors contrôlée à la fois par les caractéristiques des écoulements (vitesse, débit de pointe), par la résistance du sol à l'arrachement et la teneur en MES (matières en suspension) de l'eau de ruissellement.

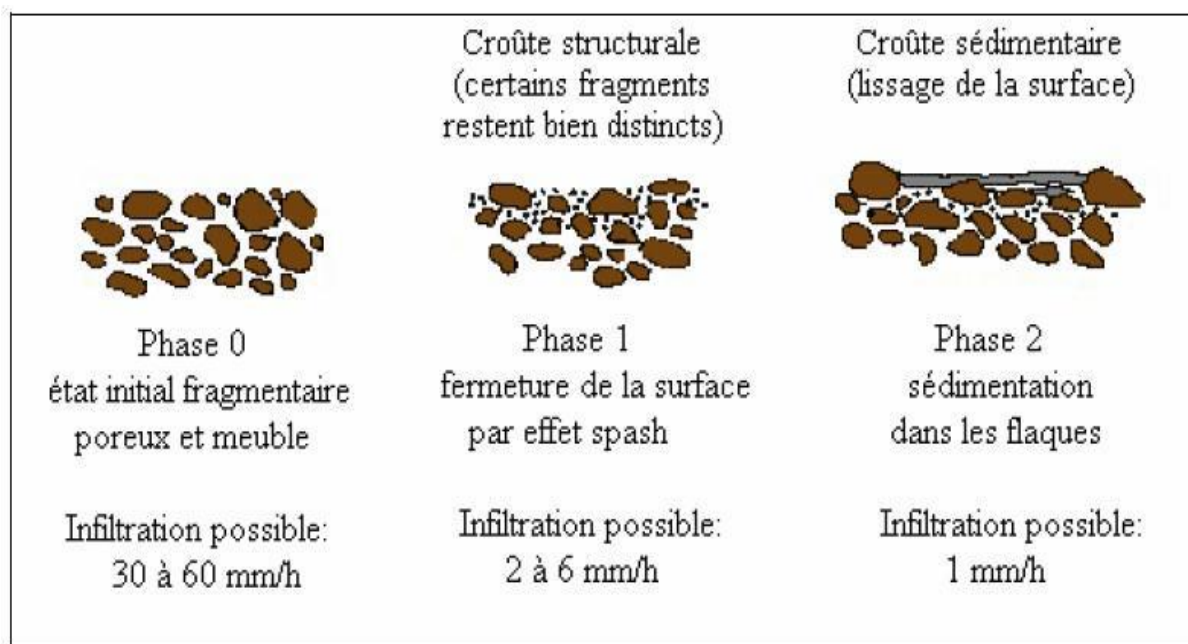


Figure I. 2 Les stades de dégradation de la surface du sol sous l'action des pluies [21]

b. Transport :

Le ruissellement superficiel est le principal vecteur de transport dans ce contexte. Il se produit soit par saturation de la porosité du sol (mécanisme de Dune), soit par l'incapacité d'infiltration causée par une pluie dont l'intensité dépasse la capacité d'infiltration de la surface du sol (mécanisme d'Horton) [22]. Ce phénomène dépend donc à la fois du type de pluie et du type de sol.

Plusieurs auteurs ont souligné l'influence de l'état de surface du sol sur la génération du ruissellement [23]. D'autres auteurs ont montré que les variations du ruissellement et de l'érosion dépendent des changements de la couverture végétale et de la gestion des utilisations des terres [24].

Le ruissellement sur les versants se présente sous différentes formes. Il est d'abord diffus, peu épais et couvre de vastes surfaces (ruissellement en nappe), puis, en aval, il se concentre dans des rigoles qui peuvent devenir des ravines permanentes. Les propriétés de l'écoulement,

telles que le volume du ruissellement, l'hydraulique et la répartition spatiale, dépendent fortement de la rugosité de la surface [25]. Le ruissellement joue un rôle déterminant dans le transport des matériaux érodés, ainsi que dans le détachement des particules. En l'absence de ruissellement, les particules de sol détachées par la pluie ne sont pas transportées sur de grandes distances. Les principaux paramètres qui influencent l'action du ruissellement sur le détachement et le transport des particules sont la pente, la vitesse et l'épaisseur de l'écoulement [26].

L'écoulement de l'eau sur le sol exerce une force de cisaillement sur les grains de surface, qui est d'autant plus intense que la vitesse du courant est élevée. Le sol, quant à lui, offre une résistance au détachement de ses grains superficiels, qui peut être comparée à une résistance à l'effet de cisaillement de l'eau.

La vitesse à laquelle les grains sont emportés par l'écoulement dépend de leur taille. Il existe une vitesse critique relativement élevée pour les grains de très petite taille en raison de leur forte cohésion. Lorsque la taille des grains augmente, la vitesse critique diminue jusqu'à un seuil (estimé par Hjulström) de 0,2 mm, au-delà duquel la vitesse nécessaire pour arracher les particules augmente à nouveau (Figure I.3).

Une fois arrachées, les particules peuvent être transportées même avec des vitesses d'écoulement plus faibles, à condition que ces vitesses ne descendent pas en dessous de la vitesse limite de sédimentation des grains, qui dépend directement de leur taille. Lorsque les particules sont érodées du sol ou arrachées du lit de la rivière et transportées dans les cours d'eau, on parle de transport solide. Deux principaux modes de transport des particules peuvent être distingués (Figure I.4) : le transport de fond et le transport en suspension [27].

Pour une taille de grain donnée, le mode de transport est déterminé par les conditions hydrauliques de la rivière. Lorsque la force de cisaillement à la base de l'écoulement d'eau dépasse le seuil critique de cisaillement, les particules commencent à se déplacer sur le fond de la rivière par roulement, glissement ou petits bonds. Lorsque les conditions hydrauliques deviennent turbulentes et que les fluctuations de vitesse verticale sont importantes, les particules peuvent être maintenues en suspension et rester peu de temps en contact avec le fond [28]. Les particules sont entraînées par l'eau tant que la vitesse d'écoulement reste supérieure à la vitesse limite de maintien en suspension (qui dépend de leur granulométrie). Dans le cas contraire, les matériaux se déposent et se sédimentent. Les matières en suspension comprennent des particules de petite taille : argiles, limons et sables, qui peuvent être physiquement transportées sur de longues distances.

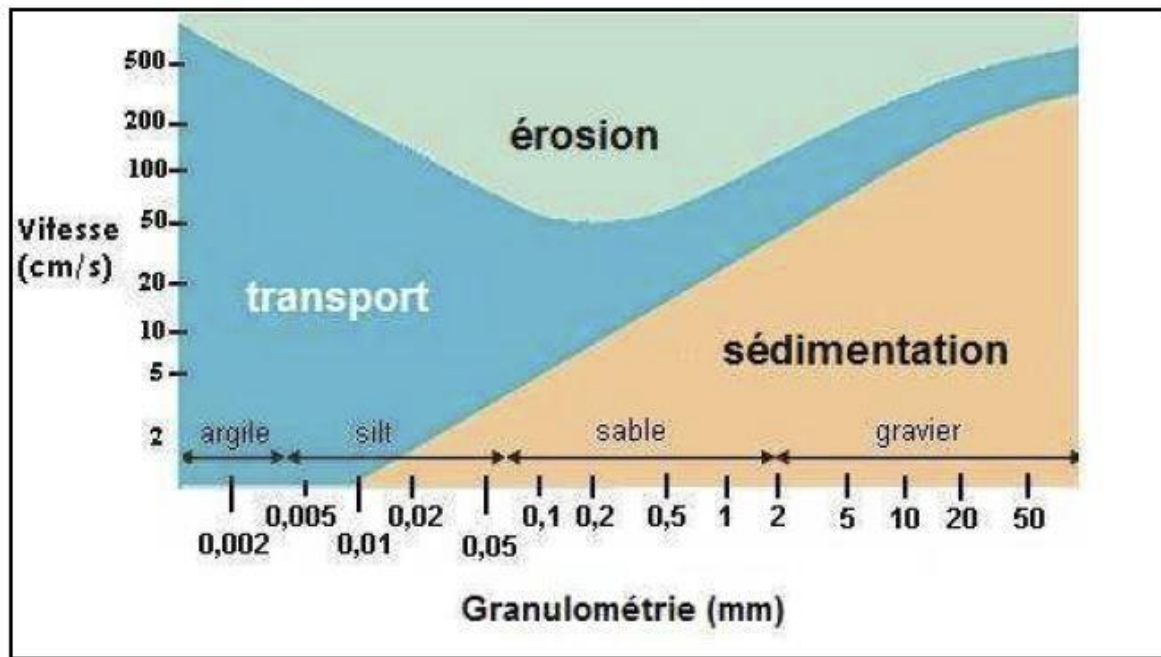


Figure I. 3 Diagramme de Hjulström[16]

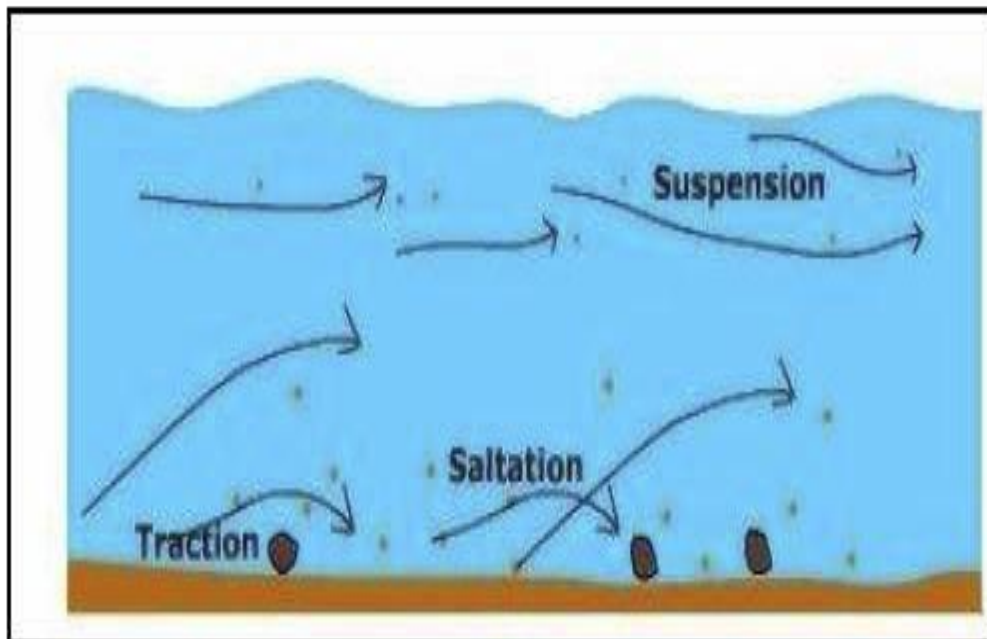


Figure I. 4 Mode de transport des particules dans les cours d'eau [16]

c. Le Dépôt :

Une fois que les particules sont emportées du lit d'une rivière ou qu'elles proviennent du ruissellement et de l'érosion des sols, elles sont soumises à de nouvelles contraintes lorsqu'elles se retrouvent dans un nouvel environnement : la colonne d'eau [29]. Le dépôt des sédiments se produit lorsque le courant n'est plus capable de maintenir les particules en suspension, ce qui entraîne un ralentissement de la vitesse d'écoulement causé par divers facteurs. Ainsi, le diagramme d'Hjulström permet de corrélérer la vitesse de sédimentation du courant avec le diamètre des particules. La granulométrie des particules, la texture des sédiments et la géométrie des dépôts sont des indices importants pour déterminer l'agent de transport, la vitesse au moment du dépôt, la direction, etc.

I.4.Types d'érosion :

I.4.1. L'érosion éolienne :

L'érosion éolienne est provoquée par le vent et joue un rôle crucial dans les régions où les vents sont puissants et où les sols sont de texture fine, tels que les sols sablonneux. Ce phénomène est particulièrement préoccupant dans les zones soumises à un pâturage intensif pendant les périodes de sécheresse. L'érosion éolienne contribue à l'exposition de la surface du sol, créant des zones dénudées et lisses sur des sols imperméables qui, en raison de leur absence de couverture végétale, de leur faible perméabilité et de leur teneur généralement élevée en sel, sont difficiles à reverdir. Par ailleurs, l'érosion éolienne est généralement plus prononcée dans les zones sablonneuses, qui retiennent moins l'humidité et sont moins fertiles. En revanche, elle est moins significative dans les zones cultivées où les sols ont une texture plus grossière, formant des agrégats plus grands et plus lourds qui ne peuvent pas être transportés par le vent, même en cas de vents violents.



Figure I. 5 Photo réel sur l'érosion éolienne

I.4.2. L'érosion hydrique :

L'eau joue un rôle important dans l'altération des roches, car elle lave et transporte les matériaux altérés d'un endroit à l'autre. On peut distinguer différents types d'érosion par l'eau, comme l'érosion fluviale, marine et pluviale. L'érosion hydrique peut être facilitée par l'activité humaine ou peut également se produire naturellement. Dans tous les cas, l'eau des rivières, des océans et de la pluie transporte les matériaux de leur point d'origine vers une zone distincte.

- L'érosion fluviale peut entraîner une décoloration des lits de rivière car, lorsqu'ils s'écoulent des vallées vers les océans et les mers, le processus d'érosion génère une grande accumulation de sédiments qui se déposent dans de nouvelles zones.
- Une autre forme d'érosion hydrique est causée par les vagues et les courants (l'érosion marine), qui érodent et modifient la terre et génèrent des particules érodées qui se déposent et modifient le littoral de la zone en question.
- Enfin, l'érosion pluviale est causée par l'eau de pluie, qui gonfle le lit des rivières, augmentant l'érosion fluviale et érode les parois des montagnes, ainsi que les sols de tous types. De plus, lorsqu'il y a des pluies acides, l'usure n'est pas seulement physique en raison du frottement de l'eau, mais elle s'accroît également en raison des réactions chimiques et corrode les surfaces de toutes sortes.

I.4.3. L'érosion des sols :

L'érosion du sol se réfère à l'usure de la couche fertile du sol, causée par divers facteurs tels que le vent, l'eau, les pratiques agricoles, la déforestation, ainsi que des éléments tels que la température, la gravité, les produits chimiques, etc.

Ce processus se caractérise par la disparition de la végétation qui protège le sol, le laissant exposé et vulnérable aux agents physiques tels que les pluies, qui peuvent entraîner des glissements de terrain et des coulées de boue, avec des conséquences potentiellement dommageables. De plus, il peut entraîner la libération de substances toxiques telles que les pesticides et les engrais, qui ont été déversés dans les plans d'eau tels que les rivières et les ruisseaux.

Parmi les autres impacts de l'érosion du sol, on compte la perte de qualité du sol due à la dégradation des nutriments et de la matière organique, ce qui rend la croissance végétale difficile.

I.5.Facteurs influents l'érosion :

I.5.1. Le climat :

Selon Stone (2000)[5], plus les précipitations sont intenses, plus le ruissellement et les risques d'érosion sont élevés. Selon Arnold et al. (1989)[6], l'impact des gouttes de pluie peut briser les agrégats et disperser les particules de sol les rendant ainsi plus sujettes à l'érosion. En outre, le taux de ruissellement est souvent accru si, durant les événements de pluie, l'infiltration est diminuée par la compaction, la formation d'une croûte ou de gel. (Muganza, 2011). [7]

I.5.2. La nature du sol :

La composition du sol, en particulier sa texture, est le principal facteur déterminant sa vulnérabilité à l'érosion. D'autres caractéristiques, telles que la structure, la teneur en matière organique et la perméabilité, jouent également un rôle important dans ce processus (Stone, 2000)[5]. Selon les recherches d'Arnold et al. (1989)[6], les sols composés de sables grossiers, de loams et d'argiles compactes ont tendance à être moins sujets à l'érosion que les sols constitués de limons, de sables très fins et de certains loams argileux. Cependant, d'après les études de Poesen et al. (2003) [8], le ravinement contribue davantage aux pertes totales de sol dans les zones où les sols sont argileux, tandis que dans les zones où la texture des sols est plus grossière, cette contribution est moins significative.

I.5.3. La topographie :

D'après les recherches de Stone (2000) [5], lorsque la pente est à la fois raide et longue, le risque d'érosion est plus élevé. En effet, une augmentation de l'inclinaison de la pente entraîne une augmentation de la vitesse du ruissellement de l'eau et une diminution du taux d'infiltration, ce qui se traduit par une augmentation du volume de ruissellement.

I.5.4. Couvert végétal :

Selon de Vente et al. (2005) [9], le type de couvert végétal joue un rôle important dans le processus de l'érosion, et ce de différentes façons. Un couvert forestier protège le sol et a une influence bénéfique sur la structure et la capacité d'infiltration du sol.

Selon Arnold et al. (1989) [6], le risque d'érosion augmente avec la diminution du couvert végétal et du pourcentage de résidus de culture sur les terres agricoles.

I.5.5. Activités humaines :

L'Homme est un agent incontournable de l'érosion hydrique à cause de ses pratiques agricoles et d'utilisation du sol. Il agit par la mise en culture ou en pâture aux dépens de la forêt ou des formations arbustives, mais aussi par la surcharge pastorale. (Ouattara, 2002). [10]

I.6. Conséquences de l'érosion hydrique :

Les conséquences de l'érosion sont multiples et peuvent notamment s'observer à travers les pertes d'épaisseur du sol, de productivité des terres et de qualité de l'environnement (Francis, 2003) [11]. Globalement, l'érosion est à l'origine de pertes de sol d'un côté, et de dépôts d'autre part.

I.6.1. Perte de sol :

L'érosion hydrique enlève les couches supérieures du sol, qui sont les plus riches en nutriments et en matière organique. Cela diminue la fertilité du sol, ce qui peut avoir un impact négatif sur l'agriculture et réduire les rendements des cultures.

I.6.2. Dégradation de la qualité de l'eau :

L'érosion des sols par les pluies entraîne un afflux de particules dans les milieux lors des épisodes pluvieux. Ces particules de sols, dites « matières en suspension », peuvent impacter la biodiversité des milieux et la qualité de l'eau lorsqu'elles sont présentes en trop grande quantité. En suspension dans l'eau, elles en diminuent la transparence. Cette opacité limite la pénétration de la lumière, ce qui affecte la photosynthèse des plantes immergées. Les capacités respiratoires des animaux aquatiques sont aussi altérées par un excès de matières fines. Lorsque le courant diminue, les particules qui se déposent sur le fond provoquent

l'envasement de certains secteurs. Cette couche de sédiments fins « étouffe » le lit du cours d'eau - situation qualifiée de colmatage du lit - et dégrade certains habitats. [12]

I.6.3. L'envasement des barrages :

Le processus de l'envasement influe sur le volume d'eau utile emmagasiné dans les barrages entraînant une diminution de capacité de stockage de ces derniers. Ce problème de sédimentation est lié aux phénomènes de l'érosion hydrique dans le bassin versant qui lui-même est conditionné par certains paramètres tels que la nature du sol, la couverture végétale, la pente de versant, la quantité de précipitation et leur intensité.

I.7. Approches et méthodes de quantification de l'érosion hydrique :

I.7.1. Mesures de terrain :

Ces méthodes consistent à effectuer des mesures directes sur le terrain pour évaluer l'érosion hydrique. Elles peuvent inclure la collecte d'échantillons de sol pour mesurer la perte de matière due à l'érosion, l'utilisation de collecteurs de sédiments pour estimer le débit de sédiments transportés, ou encore l'installation de dispositifs de mesure tels que des pluviomètres et des limnimétries pour évaluer les conditions hydriques.

I.7.2. Recherche d'indicateurs d'érosion :

Les dernières années sont marquées par l'introduction du concept d'indicateurs dans les méthodes de suivi de l'érosion. Un indicateur est une variable simple à mesurer, informant sur l'état d'un système ou d'un phénomène complexe (OCDE, 1993) [13]. À partir des années 1990, les Nations Unies tentent de rénover leur approche et de remplacer la méthode d'évaluation de la dégradation des terres, par la recherche des indicateurs de qualité des terres – Land Quality Indicators (Brabant, 1992; Glémarec, 2001) [14]. La notion d'indicateur sera très utilisée jusqu'à présent. Pour les indicateurs spatialisables, le succès est amplifié par le développement, en parallèle, des systèmes d'information géographique. Une des applications les plus simples de la notion d'indicateurs associés au SIG consiste à lier les risques d'érosion à des indicateurs accessibles sur des cartes préexistantes (géologie, pédologie) (Veihe, 2002) [15].

I.7.3. Modélisation physique :

Les modèles physiques utilisent des principes de base de la physique et de l'hydraulique pour simuler les processus d'érosion hydrique. Ils prennent en compte des facteurs tels que la pente, l'intensité des précipitations, l'infiltration de l'eau dans le sol et le transport des sédiments. Ces modèles permettent de mieux comprendre les mécanismes de l'érosion hydrique, mais ils

nécessitent des données détaillées sur le terrain et une expertise spécifique pour leur utilisation.

I.7.4. Méthodes et approches existantes :

Il existe une variété de modèles disponibles pour simuler les processus de détachement et de transport des sédiments (ainsi que des polluants associés). Ces modèles diffèrent en termes de complexité, d'objectifs, de description des processus élémentaires et de besoins en données d'entrée. En général, il n'y a pas de modèle qui soit optimal pour toutes les situations. Le choix du modèle le plus approprié dépendra de l'objectif de l'application et des caractéristiques spécifiques de l'environnement à modéliser. Parmi les autres facteurs influençant la sélection d'un modèle pour une application, on peut citer :

- La nature des données d'entrée (incluant les variations temporelles des entrées et sorties)
- La précision et la validité (incluant les hypothèses sous-jacentes)
- Les composants du modèle, qui reflètent ses capacités
- Les objectifs de l'utilisateur (incluant ses capacités à prendre en main le modèle, la nature et l'échelle des résultats escomptés)
- Les besoins en ressource informatique

En général on classe les modèles en trois grandes catégories, en fonction des processus physiques décrits par le modèle, des algorithmes décrivant ces processus et de la dépendance du modèle aux données d'entrée :

- Empirique ou statistique
- Conceptuel
- A base physique

I.8. Conclusion :

L'érosion est un processus complexe qui peut être influencé par de nombreux facteurs tels que la texture du sol, la pente, l'activité humaine et les conditions environnementales. Différents types d'érosion, tels que l'érosion hydrique, éolienne et anthropique, peuvent avoir des conséquences néfastes sur les sols, la végétation et les ressources en eau. La modélisation des processus d'érosion et de transport des sédiments est essentielle pour mieux comprendre ces phénomènes et prendre des mesures appropriées de prévention et de gestion. Cependant, le choix du modèle le plus adapté dépendra des objectifs spécifiques de l'application et des caractéristiques de l'environnement étudié. Une approche intégrée prenant en compte divers paramètres et processus est nécessaire pour une évaluation complète de l'érosion et de ses impacts.

Chapitre II. Etude descriptive du bassin versant.

Chapitre II. Etude descriptive du bassin versant

Introduction :

L'érosion des sols est un problème complexe. L'environnement est très utile car il explique le processus d'érosion sur une pente. C'est pourquoi nous utilisons ce chapitre pour étudier les propriétés physiques des objets. Le bassin versant oued sahel montre l'influence des facteurs lithologiques, la stabilité environnementale de la topographie et de l'utilisation des terres. Les hydrogrammes sont fortement influencés par la lithologie et la topographie, leur influence se fait sentir d'une part, dans les régimes des cours d'eau, d'autre part, en termes d'érosion et de transport de solides. La sensibilité du milieu à l'érosion peut aussi être déterminée par la couverture végétale.

II.1. Définitions du bassin versant :

Le bassin versant est l'ensemble des territoires superficiels et souterrains qui se drainent vers le même exutoire.

On distingue habituellement:

II.1.1 Le bassin fonctionnel : portion de l'espace géographique dont les eaux se drainent vers un même cours d'eau.

II.1.2 Le bassin topographique : portion de l'espace géographique dont les pentes convergent vers un même cours d'eau. Il peut être identique au bassin fonctionnel ou différent selon la géologie ou la perméabilité du terrain.

1. Situation géographique du bassin versant de l'oued sahel (Soummam) :

Le bassin versant Sahel représente une des parties amont du grand bassin versant de la Soummam qui est situé dans la partie Nord-est de l'Algérie. Il est limité au Nord par les chaînes montagneuses du Djurdjura et ses contreforts qui s'étendent jusqu'à la mer Méditerranée, au Sud par les contreforts des monts du Hodna, à l'Est par les chaînes des Babors et le plateau de Sétif et à l'Ouest par le plateau de Bouira. Il est à signaler que le grand bassin versant de la Soummam porte selon la codification de l'ANRH le N°15. Il est limitrophe de plusieurs bassins versants (Figure II.1). Limité au Nord, par le bassin de l'Oued Sebaou et par celui du côtier Algérois, au Nord-est par le bassin versant de l'Oued Kébir Rhumel et par le bassin versant du côtier Constantinois, à l'Est par les basses hauts plateaux Constantinois ; au Sud par le bassin de Chott El Hodna et à l'Ouest par le bassin de l'Oued Isser.

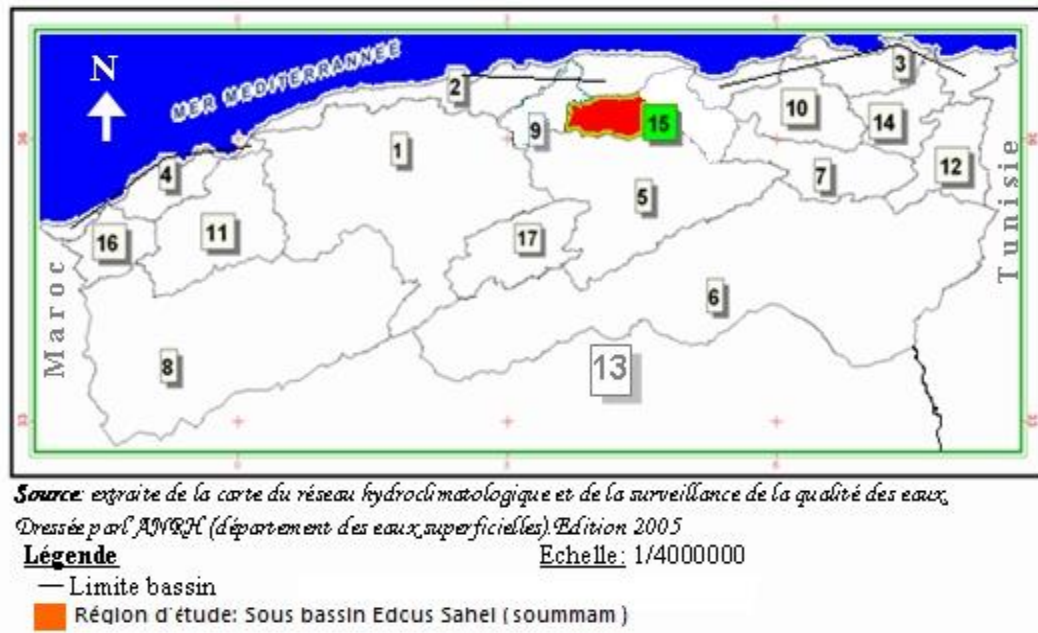


Fig. II.1 : Localisation du bassin versant de l'oued sahel (Soummam) [30]

Le bassin versant de l'oued sahel est subdivisé en 05 sous bassins versants (Fig. I.1) et il couvre une superficie de 3736.97 km² et périmètre de 360.51 Km.

CODE BASSIN :

- | | |
|---------------------------|-------------|
| 01 Chélif | 13 Sahara |
| 02 Côtiers Algérois | 14 Seybouse |
| 03 Côtier Constantinois | 15 Soummam |
| 04 Côtier Oranais | 16 Tafna |
| 05 Chott Hodna | 17 Zahrez |
| 06 Chott Melghir | |
| 07 H. Plateaux Constantin | |
| 08 H. Plateaux Oranais | |
| 09 Isser | |
| 10 Kebirrhmel | |
| 11 Macta | |
| 12 Medjerda | |

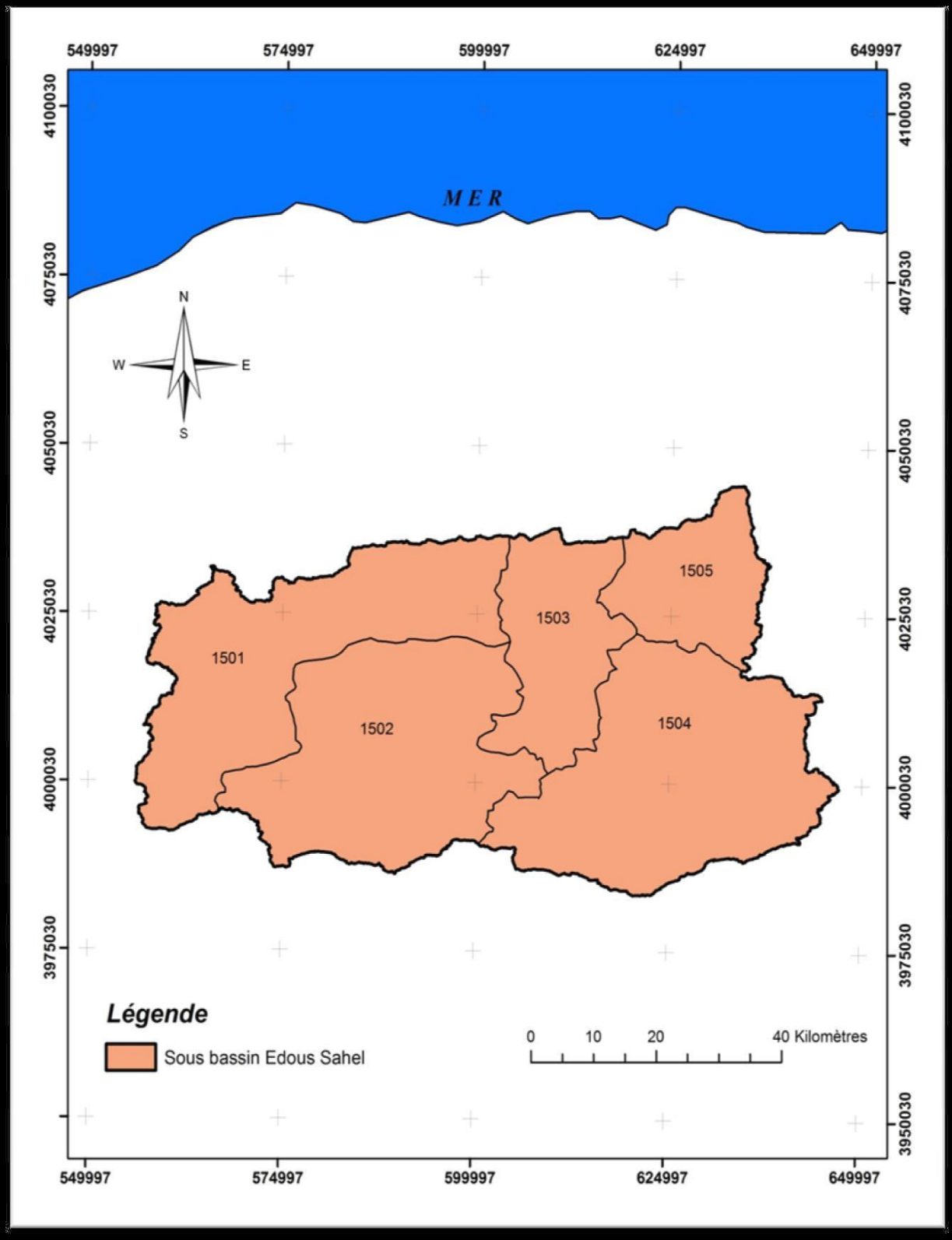


Figure II.2 : Les sous bassins versants de l'oued sahel (Soummam) [31]

Sous bassin versant	Code	Superficie (km ²)
Oued Eddous	1501	903.00
Oued Zaiane	1502	1012
Oued Sahel amont	1503	430.20
Oued Azerou	1504	1070
Oued Sahel Ava	1505	321.70

Tableau II.1 : Superficie des sous bassins versants de l'oued sahel (Soummam) [32]

II.3. Les conditions climatiques de la région [33] :

Les caractéristiques climatiques du bassin versant de la vallée du Sahel (Soummam) varient uniforme. Elle dépend de trois types de climat : climat côtier tempéré sur le parcours Dans la partie basse de l'Oued Soummam, le climat de l'Atlas Tellien se si tu entre la partie médiane de la Soummam et haut.

II.3.1 Le climat littoral :

La température moyenne varie de 18°C sur la côte à 15°C sur les reliefs très accentués. L'amplitude annuelle des moyennes mensuelles varie de 14°C à 16°C.L'humidité relative est assez élevée et présente un cycle diurne de très faible amplitude. Les moyennes annuelles sont de 70% à 18 heures et de 60% à 65% à 13 heures. La pluviométrie moyenne annuelle croît modérément d'Ouest en Est, mais de façon plus nette l'altitude. Elle passe de 400-500 mm dans la vallée du sahel à 800 mm en altitude. Le régime pluviométrique présente un maximum de précipitations en Décembre et un minimum en Juillet. L'alternance des brises de mer et de terre constitue un des traits les plus caractéristiques de ce type de climat. Le sirocco souffle de 20 à 30 jours par an. Les gelées blanches sont excessivement rares, de 0 à 2 jours par an en moyenne.

II.3.2 Le couvert végétal :

La végétation du bassin versant de l'oued sahel (Soummam) est de type méditerranéen et est très variée. Les régions alluvionnaires du haut sahel sont occupées par des chênaies. La basse et moyenne sahel sont occupés par des oliveraies et des vignobles. Dans la région de la moyenne sahel, le couvert végétal est moins dense .Dans la plaine, la végétation est dense mais essentiellement temporaire ; elle est formée par les grands et formidables champs de cultures maraîchère diverses.

Les forêts qui couvraient la région fournissaient le bois nécessaire à une industrie du bois florissante mais malheureusement ce capital tend à disparaître sous les feux qui ravagent

chaque année des milliers d'hectares. A cela s'ajoute l'absence d'une politique claire de reboisement et de lutte contre les incendies.

II.3.3 Géologie :

On distingue au niveau du bassin versant de l'oued sahel (Soummam) différentes formations géologiques.

- Le Quaternaire : il s'agit des alluvions le long des Oueds et au niveau des hautes plaines.
- Le Pliocène Continental : le coteau du sahel est couronné par des graviers siliceux et fluviaux. Ailleurs, il est conglomératique sinon caillouteux.
- Le Miocène : il s'agit essentiellement du Miocène inférieur.
- L'Oligocène : il est généralement argilo-gréseux. Il affleure en abondance à partir de Tazmalt et de part et d'autre de la vallée de la sahel, en allant vers l'ouest. Il est présent au niveau de la chaîne de Gouraya et dans la région de Béni-Mansour.
- L'Eocène : il est complètement marneux, parfois calcaro marneux. On le trouve surtout au niveau des hautes plaines.
- Le Crétacé : se présente, en général, sous forme de flysch. Il est étendu, continue depuis la chaîne des Bibans jusqu'aux montagnes de la petite Kabylie. Le faciès est marneux au Crétacé supérieur (Sénonien). Il est schisteux, sous forme de bancs de plusieurs centaines de mètres d'épaisseur avec quelques intercalations de grès au crétacé moyen (Albien) et n'apparaît que dans la région de Béni-Mansour et la chaîne des Bibans. Il est grésopélique, parfois carbonaté-gréseux au crétacé inférieur.
- Le Jurassique : il affleure surtout au niveau de la chaîne calcaire et le long de sa continuité vers l'Est. Il est principalement calcaro-dolomitique.
- Le trias : il est de faciès gypso-salin et apparaît le long de contacts anormaux (contact des nappes de charriage) dans le Tell méridional et est présenté par des conglomérats et des grès rougeâtres dans Tell septentrional.

II.3.4 Les sols :

Dans le bassin versant de la Soummam on trouve des types de sols anciens de formation paléo marécageuse qui sont caractérisés par des formations bien accentués. La carte des sols du bassin de la Soummam a été extraite de la carte des sols de l'Algérie faite par J. Durand en 1954 (Figure II.3). La majorité des sols dans le bassin de la Soummam sont des sols calcaires (riches en calcaire). Ces sols ont généralement une texture légère et sont donc perméables.

Au nord du bassin, on rencontre des sols insaturés qui ne contiennent pas de calcaire dont l'argile peut être plus abondante en surface qu'en profondeur; leurs roches mères sont généralement imperméables ou donnent des produits de décomposition imperméables. Le long des oueds, les sols existants sont des dépôts alluviaux appelés sols alluviaux. En outre on rencontre, en petites quantités des sols calciques et des sols en équilibre peu épais, plus ou moins riches en calcaire et très pauvres en sels solubles.

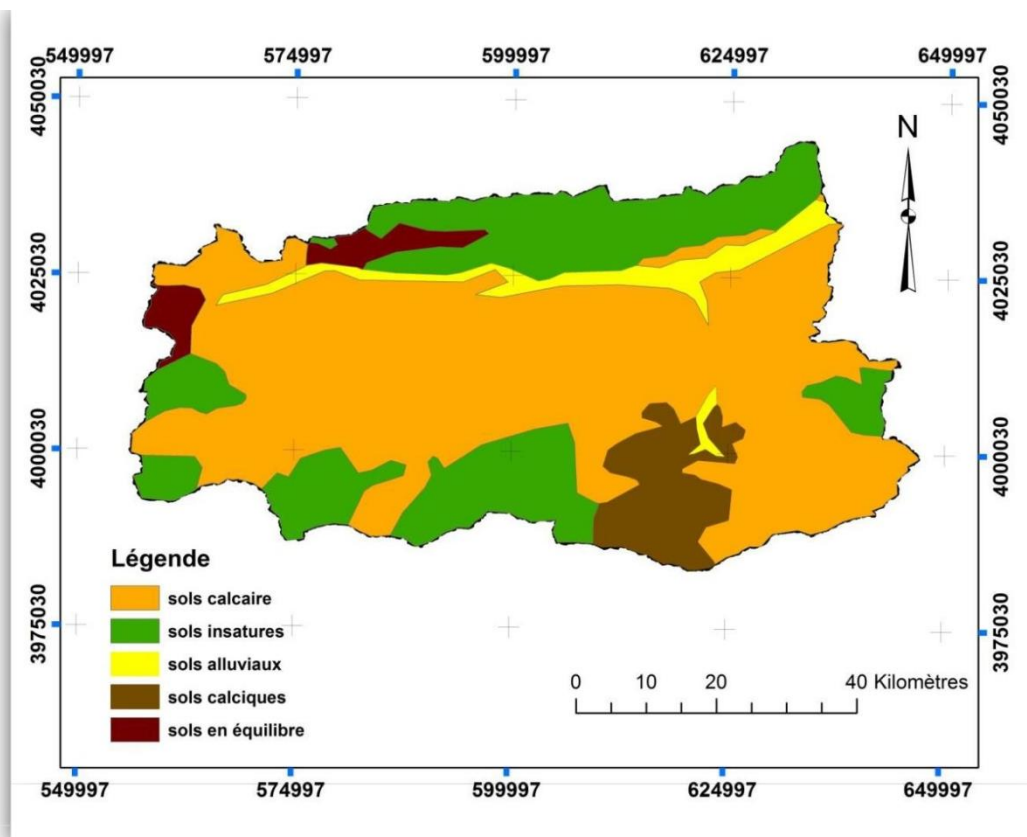


Figure II.3 : Carte des sols du bassin versant de l'oued sahel (Soummam)

II.3.5 Caractéristiques physiques [34] :

Le milieu physique dans lequel évolue le cycle hydrologique varie d'un bassin à l'autre, en fonction des fonctions d'un certain nombre de paramètres physiques, morphologiques et géométriques interviennent, et interviennent souvent conjointement dans le régime d'écoulement de la rivière. Analyser La connaissance de ces paramètres permet de mieux comprendre la cause du changement de vitesse Hydraulique du bassin. Le bassin du l'oued Sahel est constitué de cinq sous-bassins Les limites correspondent aux limites des unités hydrologiques contrôlées par les stations hydrologiques, C'est pourquoi l'étude des propriétés physiques est maîtrisée par chaque partie poste de mesure.

II.4. Paramètres hydrographiques :

Les paramètres morphologiques d'un bassin versant (forme, altitudes, pente, relief, etc.) jouent un rôle essentiel dans son comportement hydrologique. Ils ont l'avantage de se prêter à une analyse quantifiée qu'il convient de préciser autant que possible, dès le début de toute étude. La forme des bassins versant qui peut être traduite par l'indice de compacité de Gravelius a également une influence certaine sur l'écoulement. Les différentes grandeurs déterminantes de la forme d'un bassin versant sont les suivantes :

II.4.1 Périmètre du bassin (P) :

Le périmètre du bassin versant est obtenu directement à l'aide de l'Autocade V.2008, est qui est de l'ordre de $P = 360.51$ Km.

II.4.2 Superficie du bassin (A) :

La superficie du bassin versant est mesurée à l'aide du logiciel Autocade V.2008, Le bassin d'intérêt est d'une superficie $A = 3736.97$ Km².

II.4.3 L'indice de compacité de Gravelius (KG) :

L'indice de compacité renseigne sur la forme du bassin versant qui a une influence sur le débit de crue et donc sur l'allure de l'hydro gramme, résultant d'une pluie donnée.

$$K = \frac{P}{2\sqrt{\pi \cdot A}} \quad G = 0.28 \frac{P}{\sqrt{A}}$$
$$P = 2\sqrt{\pi \cdot A} \quad \text{et} \quad KG = \frac{1}{2\sqrt{\pi}} = 0.28$$

Dans notre bassin on a $C = 1.65$ donc le bassin a une forme allongé

$KG < 1.12$	le bassin versant est un ramassé
$KG = 1.12$	le bassin versant est un carré.
$KG > 1.12$	le bassin versant est un allongé

Tableau II.2 : L'indice de compacité de Gravelius (KG)

II.4.4 Le rectangle équivalent :

Est une notion introduite pour pouvoir comparer deux bassins entre eux du point de vue de l'influence des caractéristiques et de la forme sur les écoulements.

Il se définit comme étant le rectangle de longueur « L » et de largeur « l », qui a le même indice de compacité (KG) et même hypsométrie que le bassin versant étudié.

Les dimensions de ce rectangle se calculent à l'aide des relations suivantes :

$$P = 2(L + l) = \frac{K_G \sqrt{A}}{0.28}$$

II.4.5 La longueur du rectangle équivalent :

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

$$L = 156.19 \text{ Km}$$

II.4.6 La largeur du rectangle équivalent :

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

$$l = 23.92 \text{ m}$$

II.4.7 Forme du bassin :

La forme du bassin affecte l'hydrographie du cours d'eau du bassin, notamment le débit de pointe à l'exutoire dudit bassin, qui représente en général une forme ovale.

Plusieurs indicateurs sont utilisés pour déterminer la forme du bassin versant, notamment :

II.4.8 Rapport de circularité de Miller (1953) (RC) :

Cet indice définit par le rapport de la superficie (A) du bassin versant à la superficie du cercle (AC) ayant le même périmètre (P) que le bassin versant est donné par :

$$RC = 4 A/P^2$$

Donc on obtient $RC = 0.36$

Le rapport de circularité de Miller est égal 1 pour un cercle, avec L'allongement du bassin est important.

II.4.9 Facteur de forme (FF) :

Ce facteur de forme est obtenu par la formule de Zavoianu (1978) suivante :

$$FF = 16A/P^2$$

Donc $FF = 0.46$ donc la forme du bassin est rectangulaire.

Avec :

FF = 1	forme de carré
FF = 1.277	forme de cercle
FF < 1	forme rectangle

Tableau II.3 : Facteur de forme (FF)

II.5. Le réseau hydrographique :

Le bassin versant de l'oued sahel possède un réseau hydrographique très développé. une seule rivière et leurs affluents constituent son réseau hydrographique principal : le Sahel, Affluent venant du Nord-Ouest. (Figure. II.4)

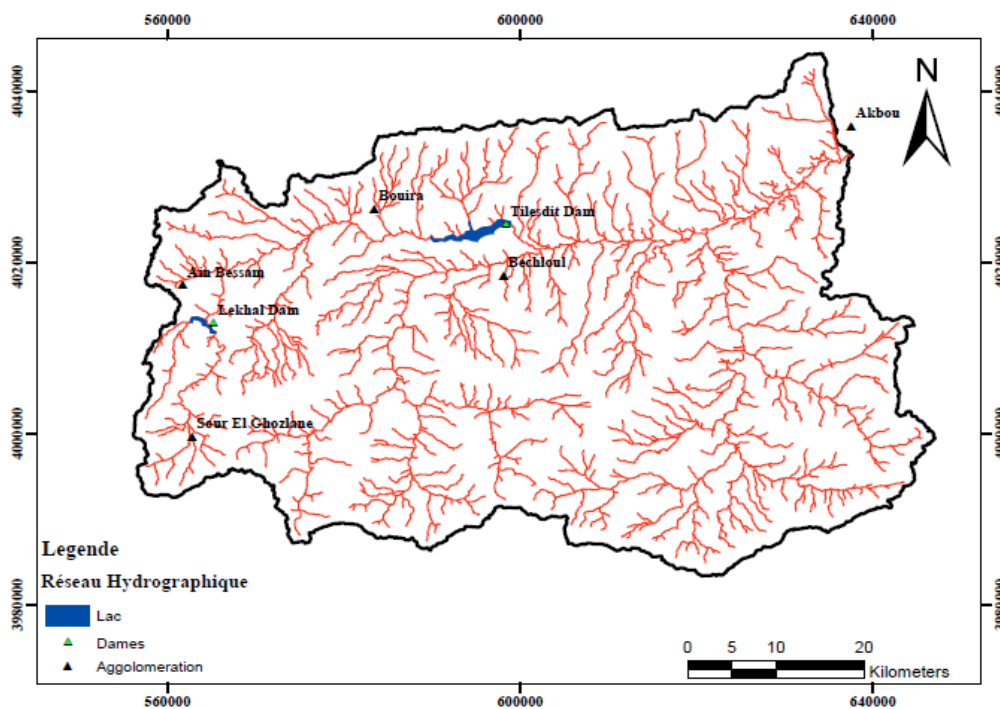


Figure II.4 : Carte du réseau hydrographique du bassin de l'oued sahel (Soumman)

II.6. Paramètres du relief [35]:

Le relief joue un rôle indéniable sur le comportement hydrologique d'un bassin versant, il détermine en grande partie l'aptitude des terrains au ruissellement, l'infiltration et la vaporisation.

Le relief du sahel présente une forme assez irrégulière, au nord, le bassin est limité par les chaînes de Djurdjura, au sud par les montagnes de Bibans et des Djebels Mansourah, à l'Est par les montagnes de la petite Kabylie. En allant de Bouira vers Akbou l'orographie du bassin est très prononcée. C'est dans cette région, près de M'Chedallah qu'est situé le point culminant (Lalla Khedidja 2308 m) du bassin versant. L'altitude diminue graduellement en allant d'Akbou vers la mer.

II.6.1 Les altitudes caractéristiques :

L'altitude joue un rôle important dans le comportement des facteurs hydrologiques, il est intéressant de calculer la répartition du bassin versant (en km² et en % de la superficie totale) par tranche d'altitude. Il existe quatre types d'altitudes caractéristiques qu'on peut calculer à partir de la courbe hypsométrique:

II. 6.1.1 L'altitude moyenne :

Les altitudes sont égales aux sous-bassins qui contrôlent les stations hydrométriques qui s'y trouvent. Calculé par les sections A.N.R.H des courbes altimétriques respectives.

$$H_{moy} = S/L$$

H : Hauteur moyenne du bassin versant.

A: superficie planimétrie de la courbe enveloppe représentant le volume du bassin

L : longueur (abscisse de la courbe) représentant par définition la surface du bassin en projection sur un plan horizontal qui est celui de la carte.

II. 6.1.2 L'altitude médiane :

L'altitude médiane correspond à l'altitude lue au point d'abscisse 50% de la surface totale du bassin, sur la courbe hypsométrique. Cette grandeur se rapproche de l'altitude moyenne dans le cas où la courbe hypsométrique du bassin concerné présente une pente régulière

II.6.1.3 Les altitudes maximale et minimale :

Les altitudes minimale et maximale du bassin versant de la Soummam sont lues directement à partir de la carte. L'altitude minimale est celle qui correspond à l'exutoire près de la mer, tandis que l'altitude maximale se trouve sur les monts de Djurdjura tel que:

$$H_{max} = 2287 \text{ m}$$

$$H_{min} = 170 \text{ m}$$

II.7. La courbe hypsométrique :

L'étude statistique permet de tracer la "courbe hypsométrique". Cette courbe donne la surface A(en km² ou en % de la surface totale) où les altitudes sont supérieures à une cote h donnée. Cette courbe est établie en planimètres pour différentes altitudes les surfaces situées au-dessus de la courbe de niveau correspondante.

On utilise le modèle numérique de terrain (MNT) pour déterminer les altitudes et les courbes de niveau et on mesure les surfaces entre chaque deux courbe de niveaux successives du bassin versant avec la digitalisation en utilisant le logiciel Arc Gis.

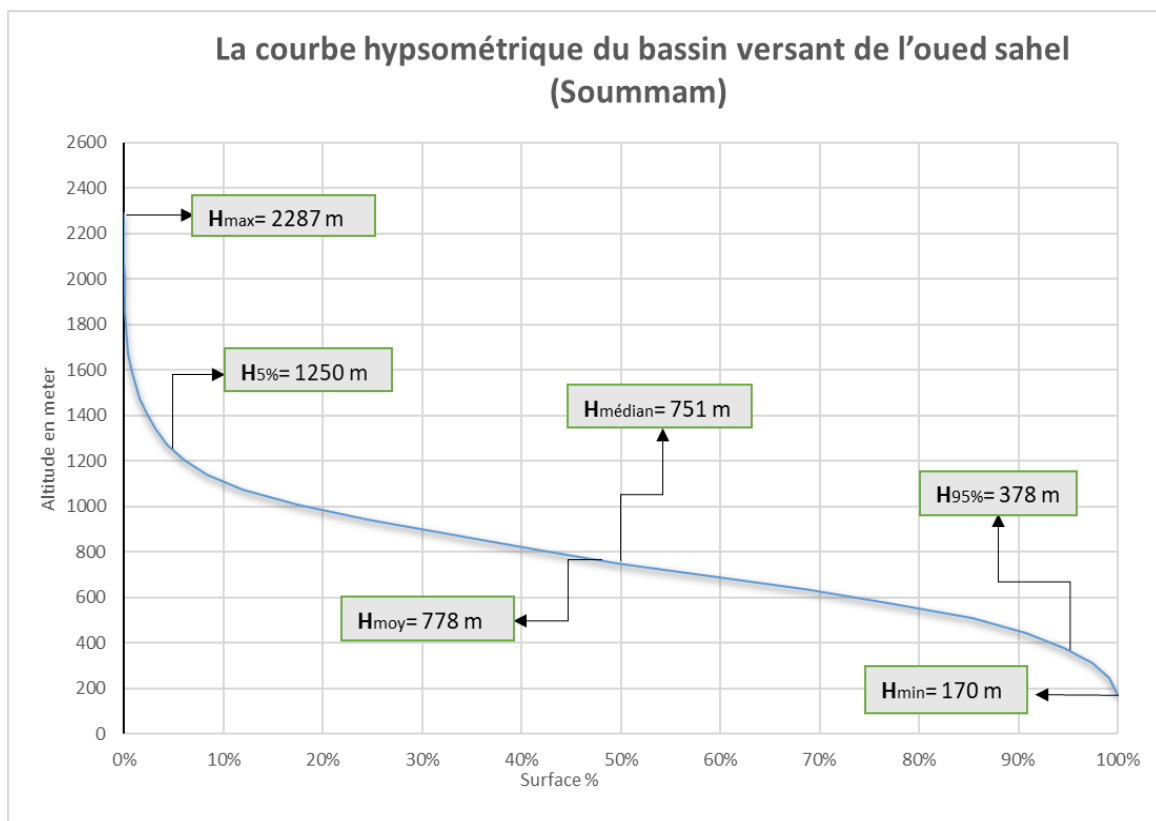


Figure II.5 : Courbe hypsométrique du bassin de la Soummam.

II.7.1. Indices de pente globale :

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

$$I_g = \frac{D}{L}$$

Avec :

D : dénivelée.

L : longueur du rectangle équivalent.

D : est déterminé à partir de la courbe hypsométrique tel que :

D : est donc égal à ($H_5 - H_{95}$) :

$$D = H_5\% - H_{95}\% = 1300 - 300 = 1000 \text{ m}$$

Donc:

$$I_g = 1000 / 156.19 = 6.40 \text{ m/km}$$

$$I_g = 0.64 \%$$

II.7.2 La densité de drainage (D_d) :

Il est défini comme le bassin versant donné de surface " S ", comme la longueur totale Caniveaux de tous niveaux sur la surface de drainage, exprimés en Km/Km²

$$D_d = \frac{\sum_{i=1}^n L_i}{S}$$

Avec : Somme des longueurs de tous les cours d'eau d'ordre i (km)

S : surface du bassin versant (Km²).

$$AN: D_d = 0.7 \text{ km/ km}^2$$

II.7.3 Coefficient de torrentialité:

Le coefficient de torrentialité est obtenu à l'aide de la relation :

$$C_t = \frac{N_1}{A} \times D_b$$

$$C_t = 0.108$$

Avec :

C_t : coefficient de torrentialité.

N_1 : nombre de talwegs d'ordre 1.

S : superficies du bassin (km²).

Dd: densité de drainage (km/km²).

II.7.4. Temps de concentration

C'est le temps que met une goutte de pluie la plus éloignée pour arriver à l'exutoire. Il peut être calculé par la formule de Giandotti

$$tc = \frac{4\sqrt{S} + 1.5L}{0.8\sqrt{Hmoy - Hmin}}$$

tc= 24.27

Avec:

L: longueur du talweg principal.

Tableau II.4. Caractéristiques géométriques et hydro morpho métriques du bassin de L'oued sahel :

Parameters	Symbol	Unite	Valeur
Superficie	S	Km ²	3736.97
Périmètre	P	Km	360.51
Indice de compacité	Kc	/	1.65
Langueur du rectangle équivalent	L	m	156190
Largeur du rectangle équivalent	I	m	23.92
Altitude max	H max	m	2287
Altitude min	H min	m	170
Altitude moyenne	H moy	m	778
L'altitude médiane	H méd	m	751
Indice de pente global	Ig	%	0.64
Densité de drainage	Dd	Km/km ²	0.7
Coefficient de torrentialité	Ct	/	0.108
Temps de concentration	Tc	Heurs	24.27

Conclusion:

Dans ce chapitre, nous avons étudié le milieu physique du bassin versant de l'oued Sahel dans le contexte de l'érosion des sols. Nous avons examiné les caractéristiques physiques, géographiques et climatiques de la région, ainsi que les différentes formations géologiques et types de sols présents. Cette étude du milieu physique du bassin versant de l'oued Sahel nous a permis de mieux comprendre les facteurs qui influencent l'érosion des sols dans la région. La connaissance de ces caractéristiques physiques, géographiques et climatiques est essentielle pour mettre en place des mesures de conservation des sols et de gestion des ressources en eau dans le bassin versant.

Chapitre III. Cartographie de la susceptibilité à l'érosion hydrique

Chapitre III. Cartographie de la susceptibilité à l'érosion hydrique

Introduction :

L'objet principal de ce chapitre est de développer un outil d'aide à la décision (basé sur une analyse multicritères) pour apporter des solutions aux problèmes de gestion du risque d'érosion du sol en Algérie avec une application au cas du bassin versant oued sahel (Soummam).

III.1. Méthodologie :

L'étude du risque d'érosion dans une zone donnée nécessite une connaissance approfondie des Facteurs affectant le phénomène et les conditions régionales de la zone d'étude. À cette fin, la structure de la méthodologie proposée pour évaluer/identifier les zones à risque L'érosion dans le bassin versant de l'oued sahel (Soummam) est réalisée en cinq étapes, en utilisant Modèle d'aide à la décision multicritère AHP et environnement SIG.

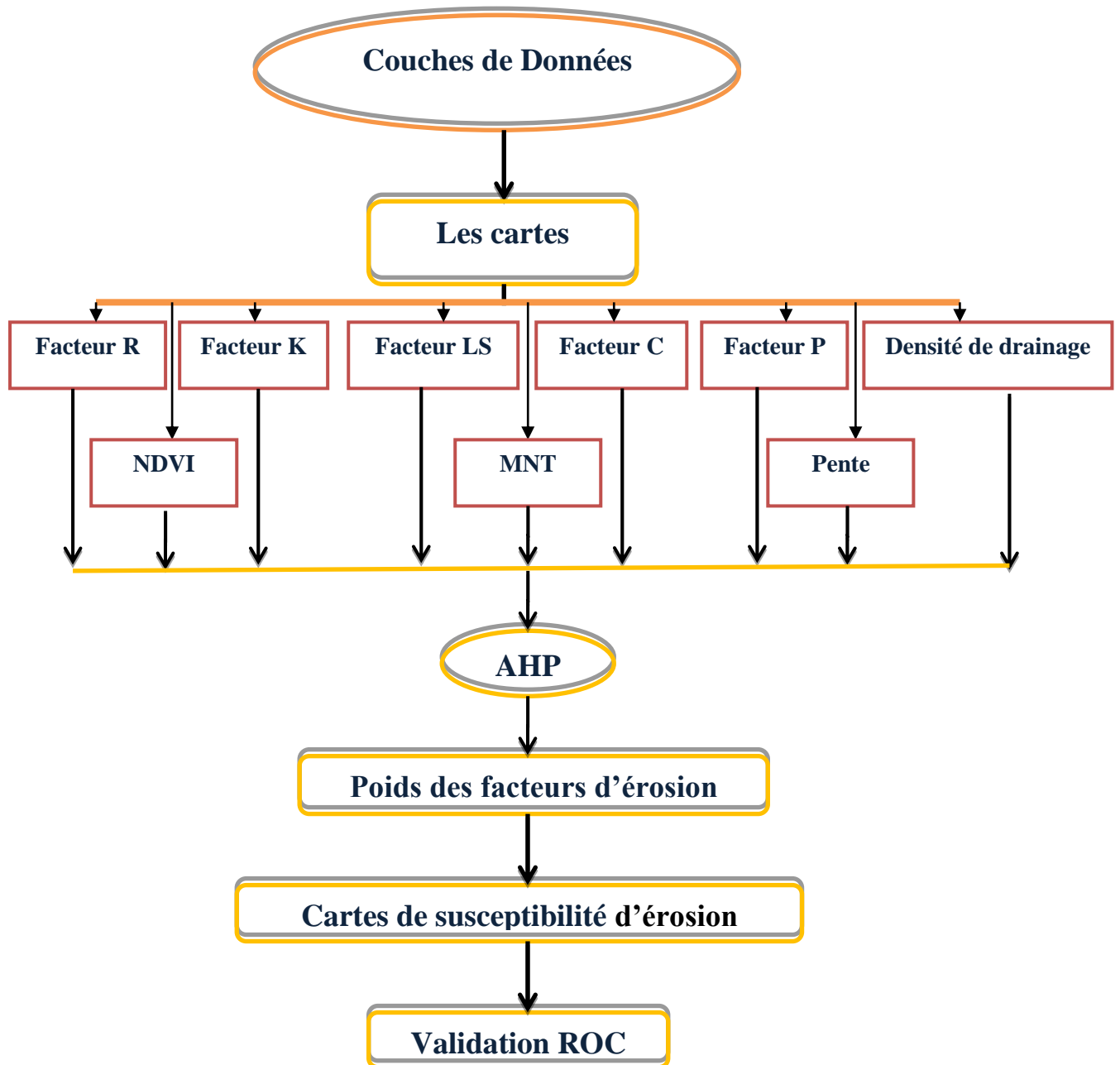


Fig.III.1 Méthodologie adoptée pour la cartographie de la susceptibilité de l'érosion hydrique

III.2. Préparation et extraction des données :

Détection des zones érodables et évaluation des facteurs de contrôle L'érosion et sa caractérisation est une tâche complexe car il existe de nombreux facteurs responsable de l'érosion. Il est donc nécessaire de préparer et d'analyser Données liées à ces facteurs et à ce phénomène. recueillir pour cela Les données de nos études de cas proviennent de plusieurs sources, notamment Données spatiales, relevés de terrain et imagerie satellitaire

Tableau III.1 : Sources des données utilisées dans l'étude

Les données	Sources (URL)
Modèle Numérique du Terrain	https://www.usgs.gov/earthexplorer
Satellite images	https://www.usgs.gov/earthexplorer
Pluie	ANRH
Carte du Sol	https://soilgrids.org/

III.3. Cartes d'inventaire de l'érosion des sols :

La création d'une carte d'inventaire des zones d'érosion hydrique est importante pour la prévision Problèmes d'érosion futurs dans une zone. Par conséquent, la carte Des listes sont générées sur toute la surface de la zone d'étude à l'aide de Collecte de données historiques, travaux antérieurs, travail de terrain et interprétation Imagerie satellite Landsat 8 traitée dans un environnement SIG. Cette carte est utilisée pour examiner la répartition spatiale des zones touchées par l'érosion et évaluer la relation entre l'érosion et différents facteurs modérateurs bassin versant dans oued sahel (Soummam).

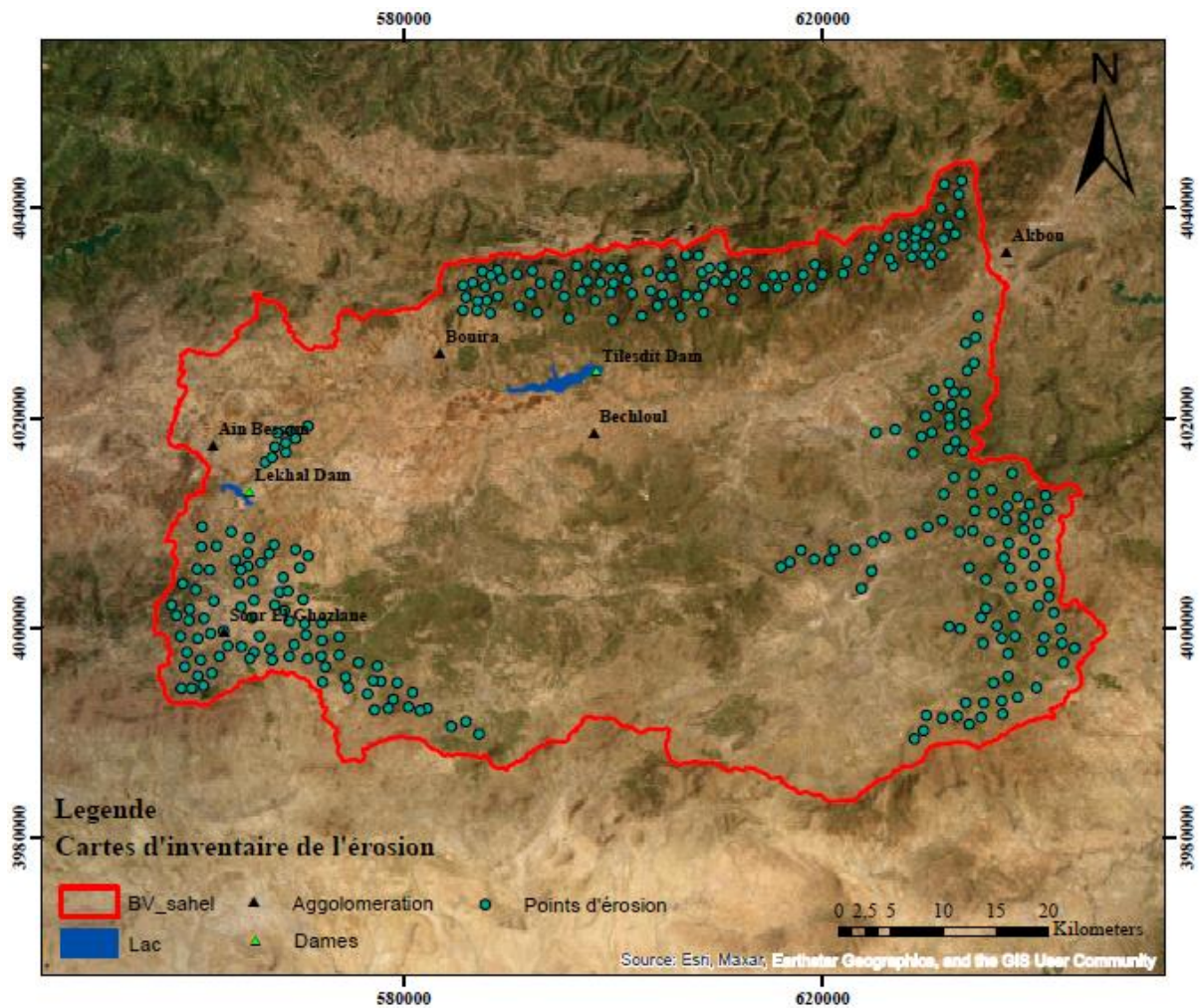


Fig. III.2 : Cartes d'inventaire de l'érosion

III.4.Facteurs d'érosion :

Dans cette étude, neuf (09) facteurs ont été utilisés pour créer Carte des risques d'érosion. Ces facteurs sont : l'érosivité (R), pente, Altitude(MNT), érodabilité (K), occupation des sols (C), densité de drainage (Dd), Indice de végétation par différence normalisé (NDVI), Indice d'humidité topographique (LS), l'aménagement (P)

III.4.1 Erosivité :

L'érosion du sol, le type le plus courant de dégradation des terres, est le processus par lequel la couche supérieure du sol (la couche dont les plantes tirent la plupart de leurs nutriments et de leur eau) est perdue. Lorsque cette couche fertile, appelée couche arable, est perdue, la productivité des terres diminue et les agriculteurs perdent une ressource vitale pour l'agriculture. Contrairement au vent ou au soleil, le sol est une ressource finie et non renouvelable qui s'érode à un rythme alarmant

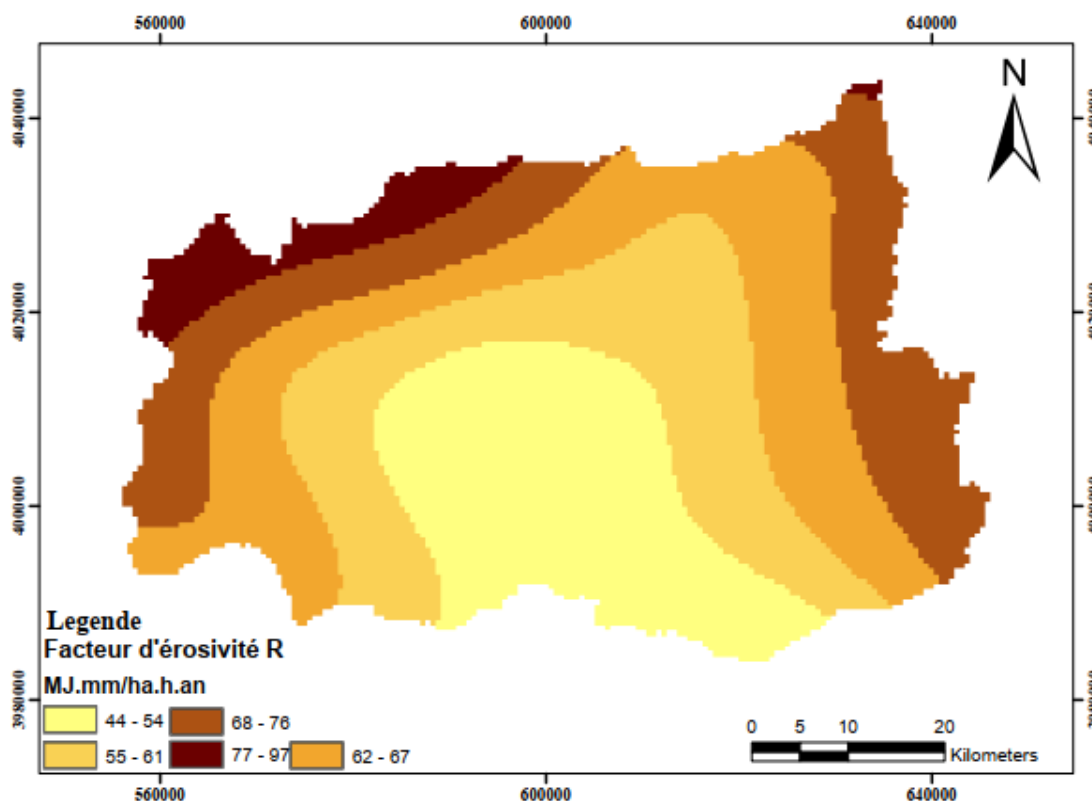


Fig. III.3: Carte d'érosivité (R)

III.4.2 La pente :

Les caractéristiques physiques de la Terre peuvent également contribuer à l'érosion des sols. Les caractéristiques topographiques importantes pour l'érosion du sol sont la pente, la hauteur, l'aspect et la forme, par exemple, les terres avec des pentes plus élevées entraîneront des précipitations continues ou une saturation du ruissellement dans la zone, en particulier en raison du mouvement plus rapide de l'eau vers le bas.

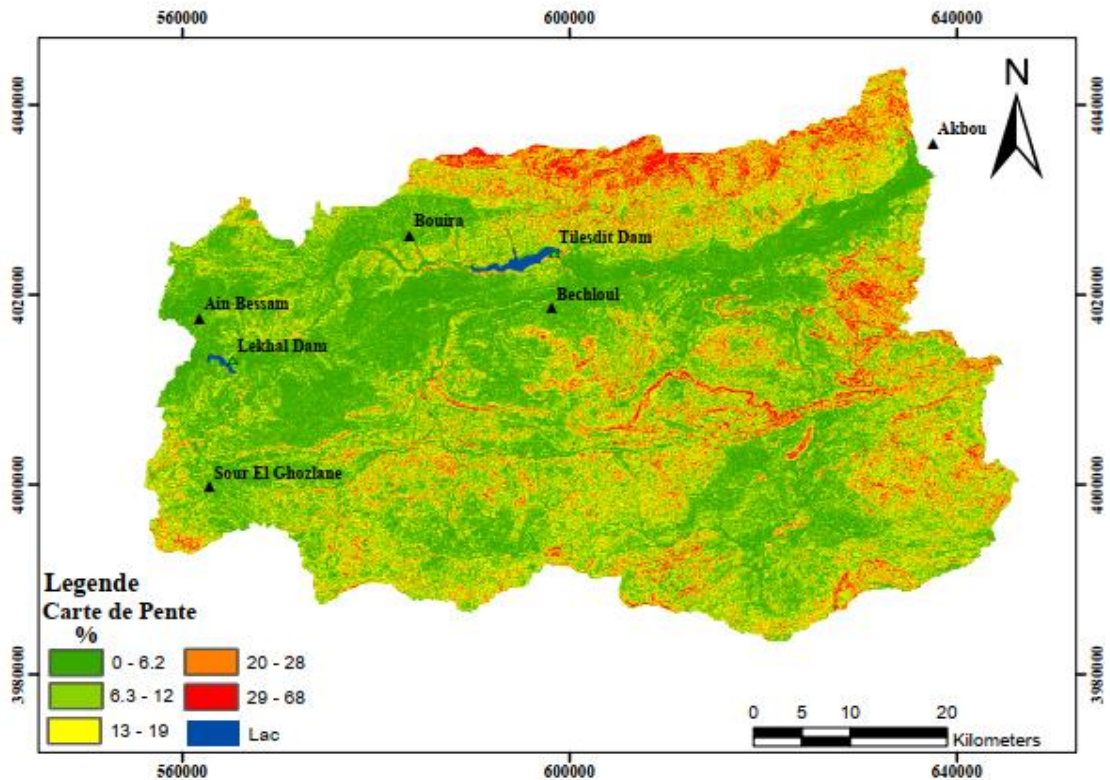


Fig. III.4 Carte de pente

III.4.3 Altitude :

L'élévation est utile pour classer le relief local et localiser les points de hauteur maximale et minimale dans les terrains. Pour calculer les densités d'érosion du sol pour différentes classes de reliefs, la carte de reliefs a été divisée en cinq classes d'altitude (Fig. III.5) et la zone d'étude révèle que l'altitude varie de 170 à 2300 m au-dessus du niveau moyen de la mer.

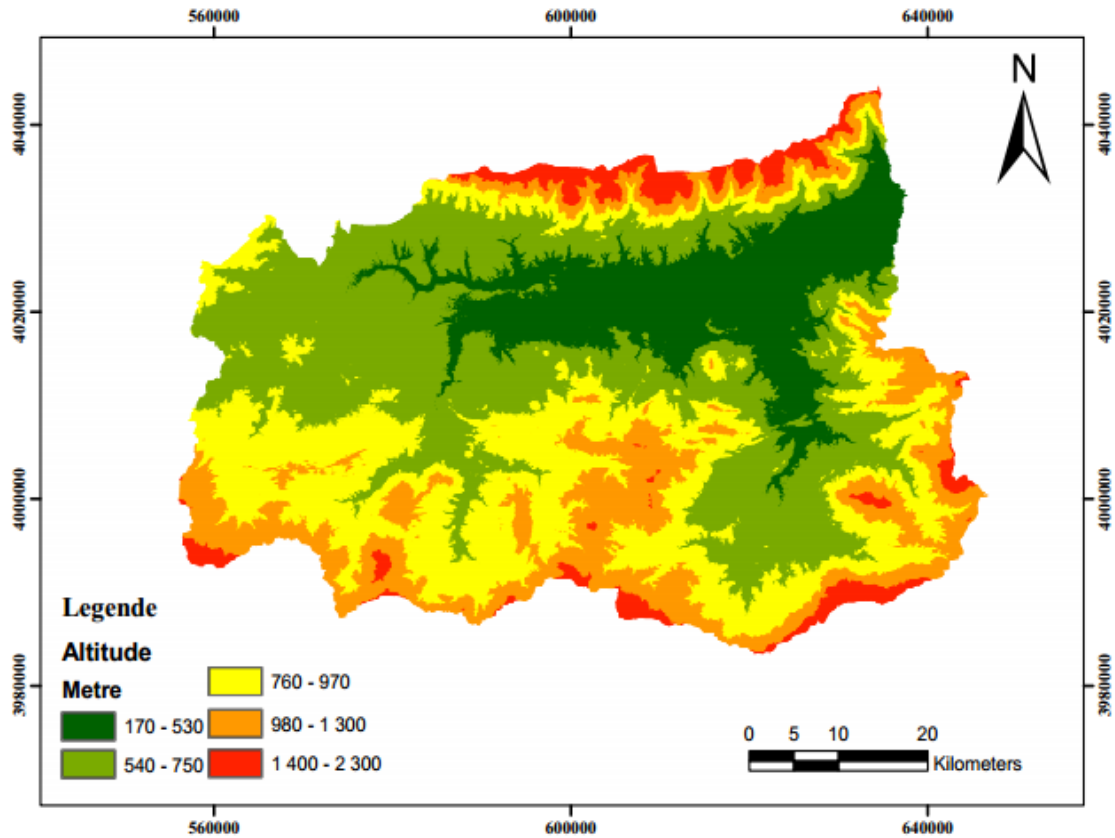


Fig. III.5 Carte de MNT

III.4.4 Indice d'humidité topographique :

Le facteur d'humidité topographique est un indice hydrologique classique pour identifier les zones hydrologiquement homogènes et quantifier l'effet de la topographie sur les processus hydrologiques (entre autres l'engorgement des sols) et les autres processus biologiques et chimiques qui en découlent .Il fait ressortir les zones relativement plates et naturellement humides de par leur position dans le bassin versant.

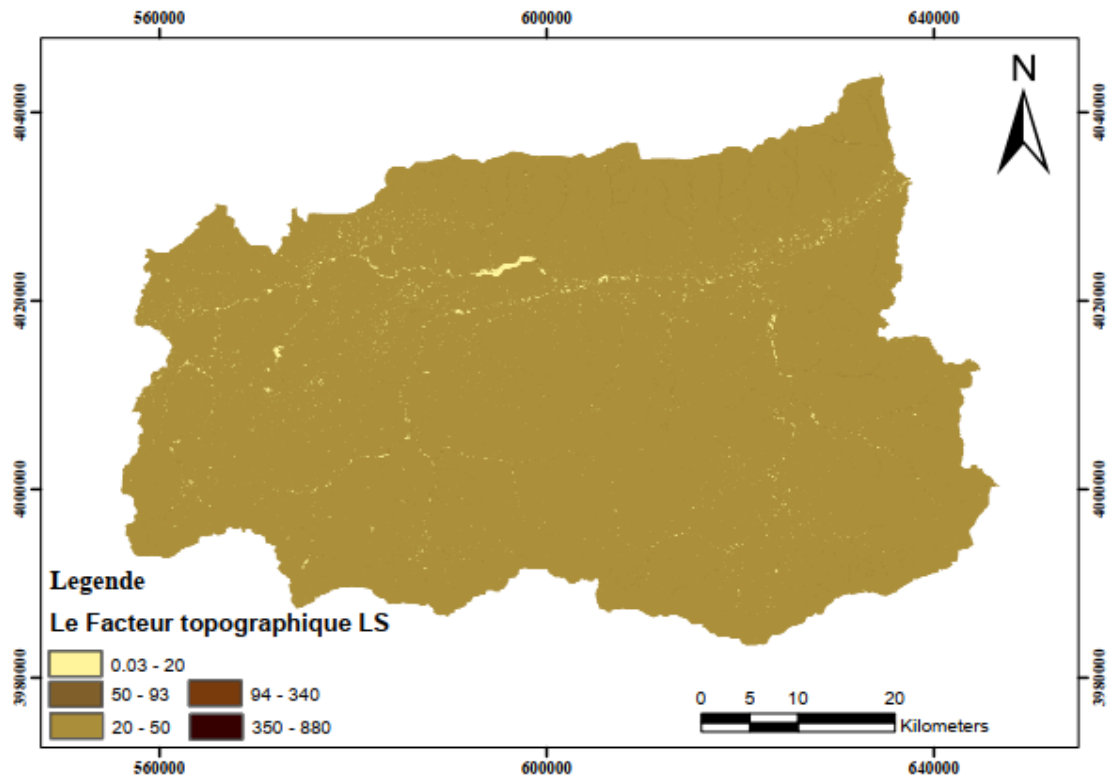


Fig. III.6 : Carte Indice d'humidité topographique (LS)

III.4.5 Occupation du sol :

Les principaux types d'utilisation des sols dans la zone d'étude sont les réseaux routiers, les cours d'eau / rivières, les zones bâties, les forêts denses, la couverture végétale, les terres nues, les terres cultivées et les jachères agricoles, comme le montre la figure (Fig. III.7). Ces classes d'utilisation des sols sont délimitées à partir des données satellitaires Land SAT 8, ainsi que de la vérification sur le logiciel Google earth

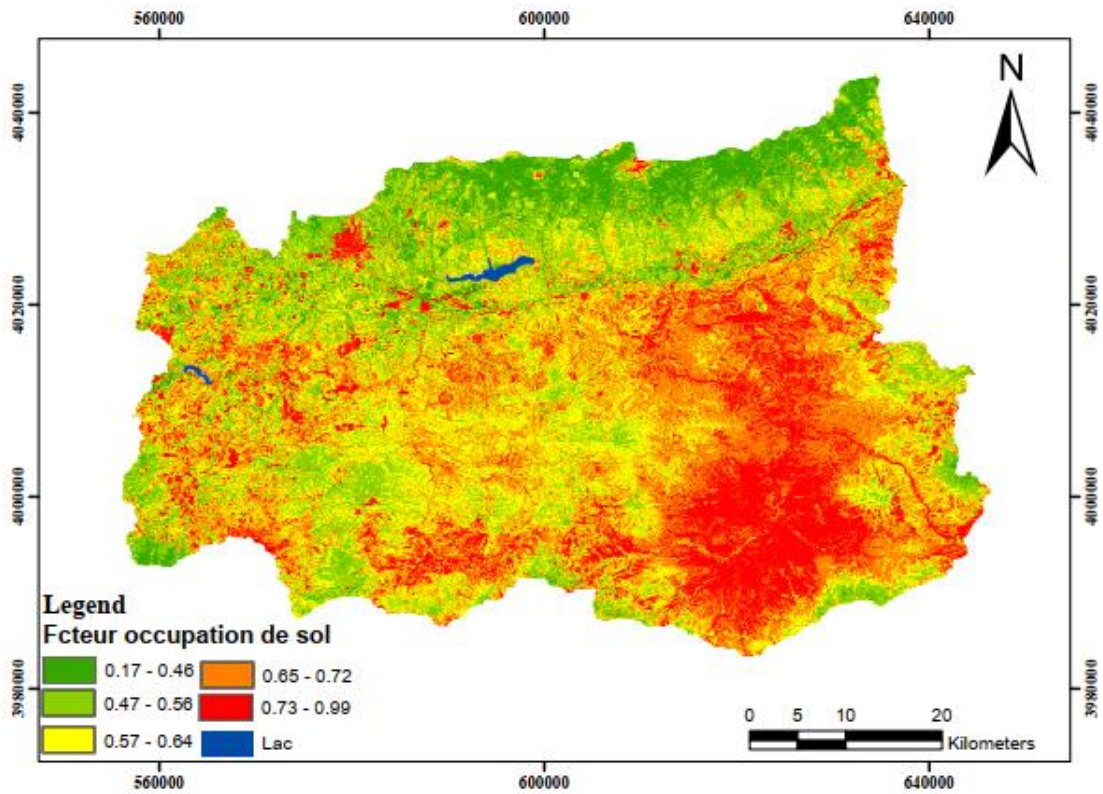


Fig. III.7 : Carte occupation de sol. (C)

III.4.6 Erodibilité :

Une érodibilité est une base qui permet de déterminer le niveau de facilité avec laquelle le sol a été érodé, ce qui est lié à la sensibilité des sols ou des matériaux superficiels à être emporté par le ruissellement. Il peut y avoir érosion.

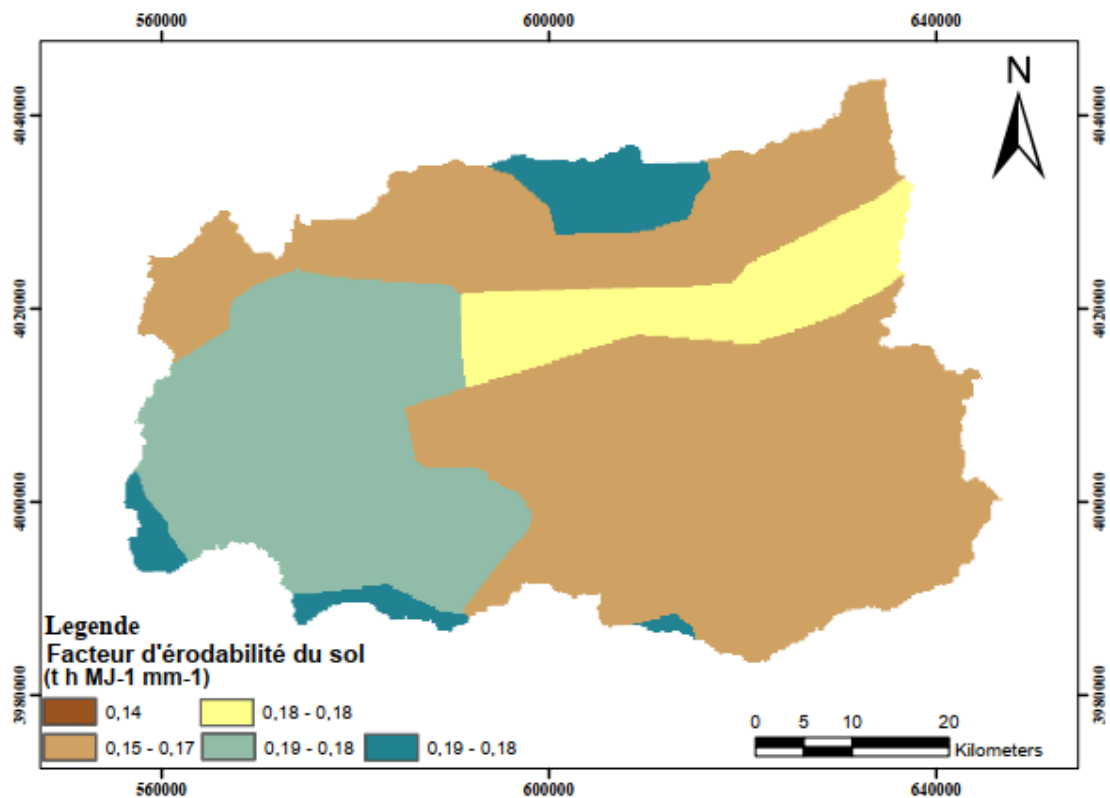


Fig. III.8 : Carte érodibilité de sol.

III.4.7 Indice de végétation par différence normalisé (NDVI) :

Il est universellement admis que l'indice de végétation normalisée dérivé du satellite (NDVI) est un indice important pour évaluer les conditions de la végétation. Conditions complexes de la végétation à tout moment de sa croissance sont influencées par des interactions complexes entre les conditions météorologiques, l'humidité du sol, le type de sol .L'analyse de l'indice de végétation par différence normalisée (NDVI) est considérée comme une estimation approximative de la quantité de végétation présente et de la force de résistance à l'érosion des arbres supérieurs le sol a lieu.

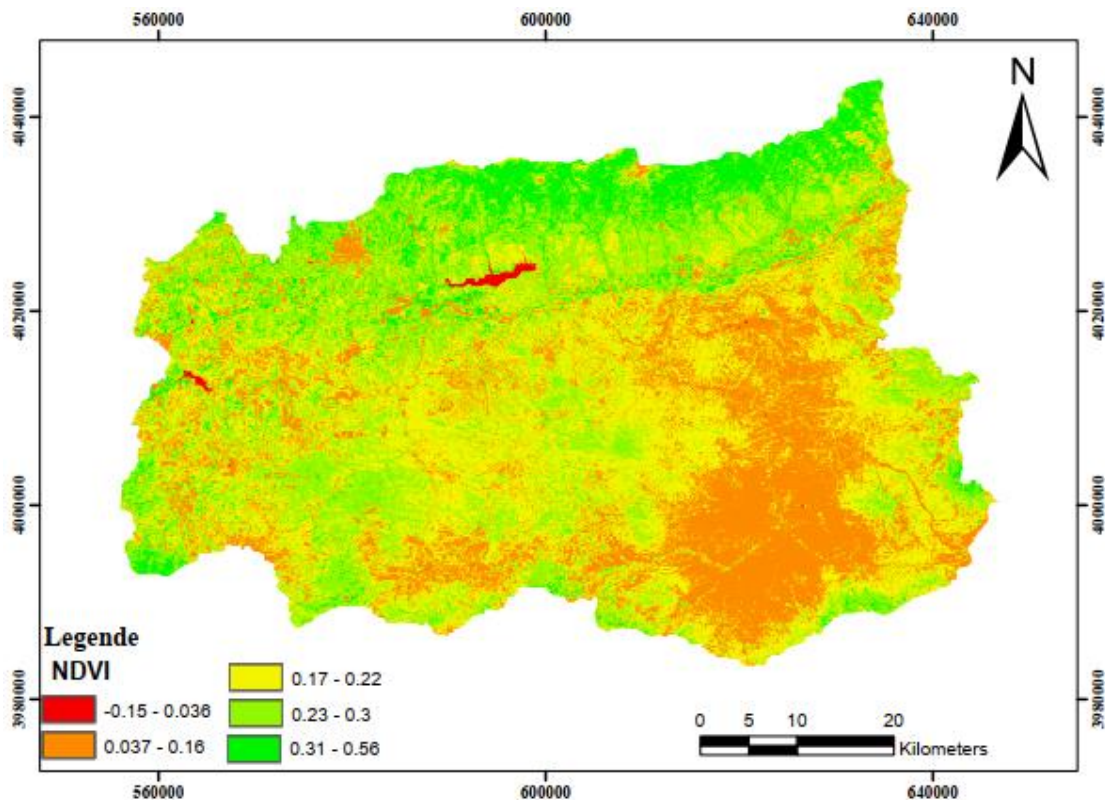


Fig. III.9. Carte Indice de végétation par différence normalisé (NDVI)

III.4.8 Facteur de conservation (P) :

Le facteur de protection P représente l'effet du mode de protection sur l'érosion. L'aspect sol cultivé est égal à un. Avec l'analyse De nombreuses parcelles où différents systèmes de protection ont été testés La cartographie des facteurs P existants dans la zone d'étude se fait à l'aide de Pente descendante continue ; pour déterminer à quel niveau de pente se situe le facteur. Valeur P Varie selon la pratique et la pente adoptée

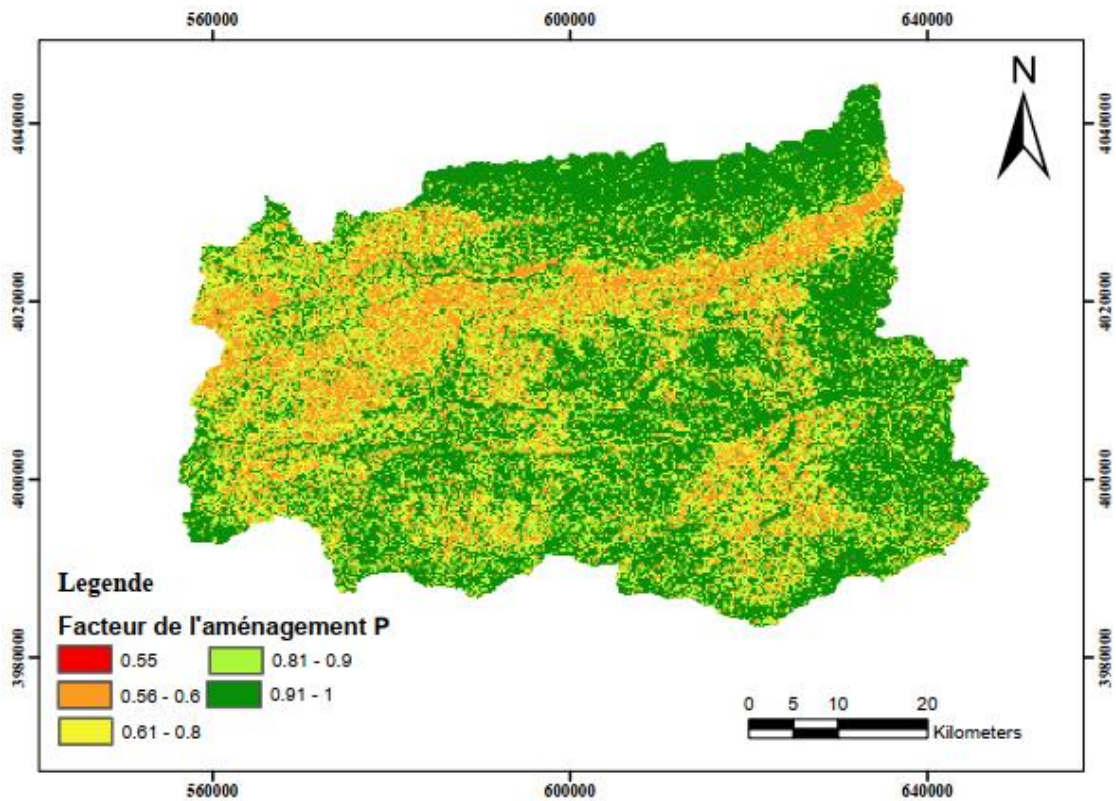


Fig. III.10 Carte de l'aménagement (P)

III.4.9 Densité de drainage :

La densité de drainage est un indicateur révélateur de la géologie et du climat. Un bassin formé de matériaux très perméables et muni d'une couverture végétale continue aura en général une densité de drainage faible. Par contre, un bassin formé de roches imperméables mais meubles. Comme des marnes ou des argiles, va souvent présenter une densité de drainage élevée.

Celle-ci est accentuée par la présence de pentes élevées et par un climat où les précipitations sont intenses mais courtes en durée.

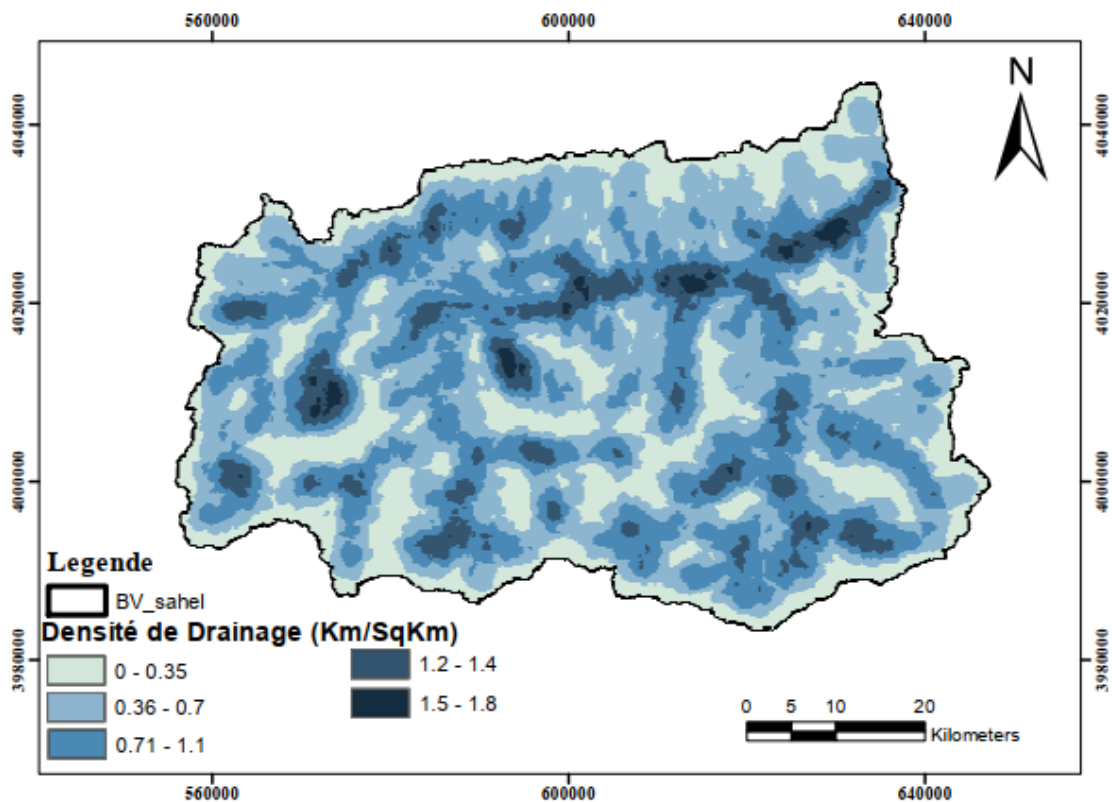


Fig. III.11 Carte densité de drainage (DD)

III.5. Méthode Hiérarchique Multicritère (AHP)

III. 5.1 Principe de la Méthode :

III.5.1.1 Fondements de la méthode :

Le processus d'analyse hiérarchique (Analytique Hiérarchie Procès : AHP) a été développé par Saaty dans les années 1980. Cette méthode consiste à représenter un problème de décision par une structure hiérarchique reflétant les interactions entre les divers éléments du problème. Le principe de fonctionnement de la méthode AHP est défini par les six étapes suivantes :

1 -Construire la structure hiérarchique : le problème est décomposé sous la forme d'une arborescence hiérarchique des critères, des sous critères et des alternatifs. Au sommet de la hiérarchie, on trouve l'objectif, et dans les niveaux inférieurs, les éléments contribuant à atteindre cet objectif. Le dernier niveau est celui des actions.

2- Construire la matrice de décision : cette étape consiste à procéder aux comparaisons par paires des éléments de chaque niveau hiérarchique par rapport à un élément du niveau hiérarchique supérieur. Cette étape permet de construire la matrice de comparaison. Les valeurs de cette matrice sont obtenues par la transformation des jugements en valeurs numériques selon l'échelle de Saaty (Echelle de comparaisons binaires). La forme générale d'une matrice de décision est exprimée par :

Tableau III.2 : Echelle à 9 valeurs de saaty

Valeur numérique	Jugement verbal
1	Important égale
3	Modérément plus important
5	Fortement plus important
7	Très Fortement plus important
9	Excrément plus important
2,4, 6,8	Valeurs intermédiaires entre deux jugements, utilisées pour affiner le jugement

3- Construire la matrice de décision normalisée : la matrice normalisée (a_{ij}) est obtenue à partir de la matrice $A(x_{ij})$, selon la formule suivante :

$$a_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sum_i^n x_{ij}}$$

$$A = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & \dots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{n1} & a_{n2} & \dots & \dots & a_{nn} \end{pmatrix}$$

4- Déterminer l'importance relative à chaque élément : le poids de chaque facteur i peut être calculé par :

$$W_i = \frac{\sum_{j=1}^n a_{ij}}{n} \quad \text{et} \quad \sum_{i=1}^n w_i = 1$$

Où n représente le nombre des éléments comparés.

5- Vérifier la cohérence des jugements : pour tester la cohérence, (Saaty, 1980) a introduit trois paramètres : le ratio de cohérence RC, l'indice aléatoire IA et l'indice de cohérence IC. On calcule d'abord, l'indice de cohérence IC.

$$IC = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1}$$

Aussi, nous avons besoin de calculer λ_{max} en utilisant la formule suivante :

$$\lambda_{max} = \frac{\sum_{i=1}^n b_i}{n} \quad \text{sachant que} \quad b_i = \frac{\sum_{j=1}^n W_j \times a_{ij}}{W_i}$$

On calcule le ratio de cohérence RC comme suit :

$$RC = \frac{IC}{IA}$$

Où IA est l'indice aléatoire obtenu à partir du tableau III.2

Selon (Saaty, 1980), la valeur de ce dernier doit être au plus égale à 10%. Dans le cas où cette valeur dépasse 10%, les appréciations peuvent exiger certaines révisions, et la cohérence est dite non acceptée.

Tableau III.3 : Valeur de l'indice aléatoire IA

Nombre de critères	3	4	5	6	7	8	9	10	12
IR	0.58	0.90	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45	1.49	1.54

1. Résultats obtenues :

Tableau III.4 : Matrice par paires de susceptibilité à l'érosion.

Paramètres	Erosivité R	Pente	Altitude	Erodibilité	Facteur LS	Facteur C	Facteur P	D_drainage	NDVI	Vp	Cp	λ_{max}	CI= $\lambda_{max}-$ N/N-1	CR=CI/RI
Erosivité R	1	1	2	3	3	4	5	6	5	2.81	0.23	0.90	0.08	0.058173
Pente	1.00	1	3	2	3	6	6	5	7	3.05	0.25	0.94		
Altitude	0.50	0.33	1	3	5	4	4	9	5	2.30	0.19	1.36		
Erodibilité	0.33	0.50	0.33	1	3	3	4	4	3	1.42	0.12	1.21		
Facteur LS	0.33	0.33	0.20	0.33	1	2	3	3	4	0.93	0.08	1.23		
Facteur C	0.25	0.17	0.25	0.33	0.50	1	3	2	3	0.68	0.06	1.16		
Facteur P	0.20	0.17	0.25	0.25	0.33	0.33	1	1	2	0.43	0.03	0.94		
D_drainage	0.17	0.20	0.11	0.25	0.33	0.50	1.00	1	3	0.43	0.03	1.08		
NDVI	0.20	0.14	0.20	0.33	0.25	0.33	0.50	0.33	1	0.31	0.03	0.82		
SUM	3.98	3.84	7.34	10.50	16.42	21.17	27.50	31.33	33.00	12.35	1.00	9.69		5.82

Tableau III.5 : La matrice normalisée de susceptibilité à l'érosion.

Paramètres	Erosivité R	Pente	Altitude	Erodibilité	Facteur LS	Facteur C	Facteur P	D_drainage	NDVI	SUM	CP	VP (%)
Erosivité R	0.25	0.26	0.27	0.29	0.18	0.19	0.18	0.19	0.15	1.97	0.22	22
Pente	0.25	0.26	0.41	0.19	0.18	0.28	0.22	0.16	0.21	2.17	0.24	24
Altitude	0.13	0.09	0.14	0.29	0.30	0.19	0.15	0.29	0.15	1.71	0.19	19
Erodibilité	0.08	0.13	0.05	0.10	0.18	0.14	0.15	0.13	0.09	1.04	0.12	12
Facteur LS	0.08	0.09	0.03	0.03	0.06	0.09	0.11	0.10	0.12	0.71	0.08	8
Facteur C	0.06	0.04	0.03	0.03	0.03	0.05	0.11	0.06	0.09	0.51	0.06	6
Facteur P	0.05	0.04	0.03	0.02	0.02	0.02	0.04	0.03	0.06	0.32	0.04	4
D_drainage	0.04	0.05	0.02	0.02	0.02	0.02	0.04	0.03	0.09	0.34	0.04	4
NDVI	0.05	0.04	0.03	0.03	0.02	0.02	0.02	0.01	0.03	0.24	0.03	3
SUM	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	9.00	1.00	100.00

Tableau III.6 : Matrice de comparaison des classes de facteur R :

Erosivité R										
Class	VH	H	M	L	VL	Vp	Rating	λ_{max}	CI	CR
44 - 54	1	0.33	0.20	0.14	0.11	0.25	0.033	5.24	0.060	0.054
55 - 61	3.00	1	0.33	0.20	0.14	0.49	0.064			
62 - 67	5.00	3.00	1	0.33	0.20	1.00	0.130			
68 - 76	7.00	5.00	3.0	1	0.333333	2.04	0.264			
77 - 97	9.00	7.00	5.0	3.00	1	3.94	0.510			
SUM	25.00	16.33	9.53	4.68	1.79	7.72	1.00			5.42

Tableau III.7 : Matrice de comparaison des classes de facteur de pente :

Pente										
Class	VL	L	M	H	VH	Vp	Rating	λ_{max}	CI	CR
0 - 6.2	1	0.33	0.25	0.50	0.20	0.38	0.062	5.29	0.07	0.06
6.3 - 12	3.00	1	0.25	0.33	0.25	0.57	0.092			
13 - 19	4.00	4.00	1	0.50	0.33	1.22	0.196			
20 - 28	2.00	3.00	2.0	1	0.5	1.43	0.230			
29 - 68	5.00	4.00	3.0	2.00	1	2.61	0.419			
SUM	15.00	12.33	6.50	4.33	2.28	6.21	1.00			6.62

Tableau III.8 : Matrice de comparaison des classes de facteur MNT :

Altitude										
Class	VL	L	M	H	VH	Vp	Rating	λ_{max}	CI	CR
170 - 530	1	0.33	0.25	0.20	0.14	0.30	0.041	5.35	0.08	0.07
540 - 750	3.00	1	0.50	0.33	0.20	0.63	0.086			
760 - 970	4.00	2.00	1	0.20	0.14	0.74	0.102			
980 - 1300	5.00	3.00	5.0	1	0.333333	1.90	0.260			
1400 - 2300	7.00	5.00	7.0	3.00	1	3.74	0.511			
SUM	20.00	11.33	13.75	4.73	1.82	7.32	1.00			7.85

Tableau III.9 : Matrice de comparaison des classes de facteur LS :

LS										
Class	VH	H	M	L	VL	Vp	Rating	λ_{max}	CI	CR
0.03	1	0.33	0.20	0.14	0.11	0.25	0.039	5.25	0.06	0.05
0.031 - 21	3.00	1	0.20	0.33	0.50	0.63	0.097			
22 - 93	5.00	5.00	1	1.00	0.50	1.66	0.255			
94 - 340	7.00	3.00	1.0	1	0.5	1.60	0.246			
350 - 880	9.00	2.00	2.0	2.00	1	2.35	0.362			
SUM	25.00	11.33	4.40	4.48	2.61	6.49	1.00			5.58

Tableau III.10 : Matrice de comparaison des classes de facteur C :

Facteur C										
Class	VL	L	M	H	VH	Vp	Rating	λ_{max}	CI	CR
0.17 - 0.46	1	0.33	0.20	0.14	0.11	0.25	0.037	5.30	0.07	0.06
0.47 - 0.56	3.00	1	0.20	0.33	0.25	0.55	0.080			
0.57 - 0.64	5.00	5.00	1	0.33	0.50	1.33	0.195			
0.65 - 0.72	7.00	3.00	3.0	1	0.5	1.99	0.292			
0.73 - 0.99	9.00	4.00	2.0	2.00	1	2.70	0.396			
SUM	25.00	13.33	6.40	3.81	2.36	6.83	1.00			6.59

Tableau III.11 : Matrice de comparaison des classes de facteur K :

Erodabilité K										
Class	VL	L	M	H	VH	Vp	Rating	λ_{max}	CI	CR
0.14	1	0.50	0.33	0.25		0.45	0.087	4.24	0.08	0.08
0.15 - 0.17	2.00	1	0.50	0.25		0.71	0.136			
0.18 - 0.18	3.00	2.00	1	0.20		1.05	0.201			
0.18 - 0.19	4.00	4.00	5.0	1		2.99	0.576			
SUM	10.00	7.50	6.83	1.70		5.20	1.00			8.99

Tableau III.12 : Matrice de comparaison des classes de facteur NDVI :

NDVI										
Class	VH	H	M	L	VL	Vp	Rating	λ_{max}	CI	CR
0.036	1	2	3	4	5	2.61	0.409	5.24	0.06	0.05
0.037 - 0.16	0.50	1	2	5	3	1.72	0.270			
0.17 - 0.22	0.33	0.5	1	3	4	1.15	0.180			
0.23 - 0.3	0.25	0.2	0.3	1	3	0.55	0.086			
0.31 - 0.56	0.20	0.3	0.3	0.33	1	0.35	0.056			
SUM	2.28	4.03	6.58	13.33	16.00	6.38	1.00			5.42

Tableau III.13 : Matrice de comparaison des classes de facteur P :

Facteur P										
Class	VL	L	M	H	VH	Vp	Rating	λ_{max}	CI	CR
0.55	1	0.33	0.25	0.50	0.20	0.38	0.057	5.38	0.09	0.08
0.56 - 0.6	3.00	1	0.33	0.20	0.14	0.49	0.072			
0.61 - 0.8	4.00	3.00	1	0.33	0.20	0.96	0.141			
0.81 - 0.9	2.00	5.00	3.0	1	0.5	1.72	0.254			
0.91 - 0.1	5.00	7.00	5.0	2.00	1	3.23	0.476			
SUM	15.00	16.33	9.58	4.03	2.04	6.78	1.00			8.50

Tableau III.14 : Matrice de comparaison des classes de facteur DD :

Densité de drainage										
Class	VL	L	M	H	VH	Vp	Rating	λ_{max}	CI	CR
0 - 0.35	1	0.33	0.20	0.14	0.11	0.25	0.037	5.30	0.07	0.06
0.36 - 0.71	3.00	1	0.20	0.33	0.25	0.55	0.080			
0.72 - 1.1	5.00	5.00	1	0.33	0.50	1.33	0.195			
1.2 - 1.4	7.00	3.00	3.0	1	0.5	1.99	0.292			
1.5 - 1.8	9.00	4.00	2.0	2.00	1	2.70	0.396			
SUM	25.00	13.33	6.40	3.81	2.36	6.83	1.00			6.59

La carte de susceptibilité à l'érosion hydrique est déterminée à l'aide de la formule suivante :

$$A = (R \times 0.23) + (Pente \times 0.25) + (MNT \times 0.19) + (K \times 0.12) + (LS \times 0.08) + (C \times 0.06) + (P \times 0.03) + (Dd \times 0.03) + (NDVI \times 0.03)$$

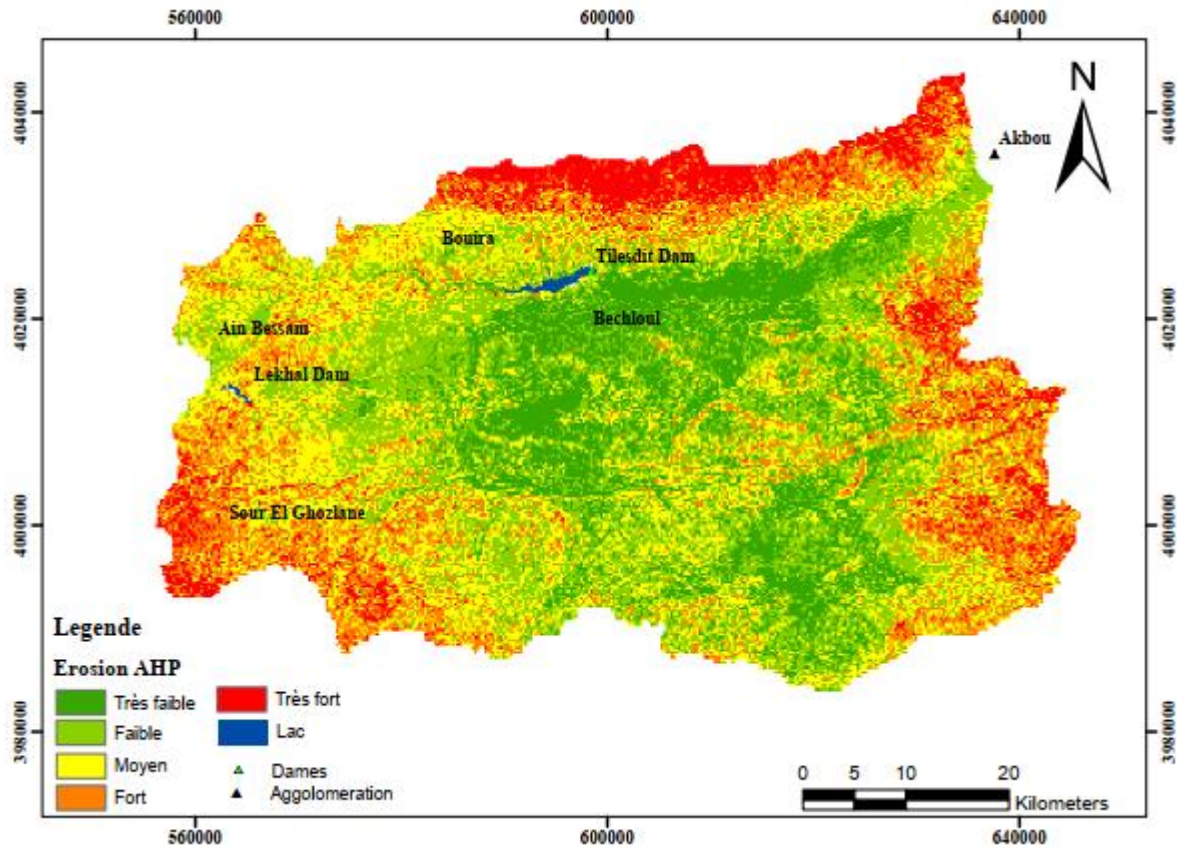


Fig. III.12 Carte de susceptibilité de l'érosion hydrique par la méthode AHP du bassin versant oued sahel (Soummam)

Tableau III. 15 Répartition de l'érosion dans le bassin versant

Classes d'érosion	Surface en Km2	Surface en %
Très faible	634.62	16.98
Faible	993.2	26.57
Moyenne	1101.75	29.48
Fort	683.55	18.29
Très fort	323.85	8.66

La méthode AHP intégrée dans un SIG est utilisée pour identifier les zones à risque d'érosion. La carte obtenue (Figure III.12) a été subdivisée en cinq classes allant du risque «très Faible» au risque « très fort ». Selon les résultats nous constatons que 16.98% de la surface totale du bassin a été placé dans classes très faible ; 26.57% en classe faible ; 29.48% en moyenne classe ; 18.29% en classe fort ; 8.66% en classe très fort. À travers ces résultats, on peut distinguer que les régions à haut risque d'érosion se situent en grande partie dans le nord du bassin versant qui se caractérisent par des précipitations fortes et extrêmement irrégulières et

abondantes, et des pentes relativement fortes. par contre à l'échelle de la région sud et sud-ouest du bassin versant des zones à faibles et moyennes risques sont apparus et se caractérise par un climat aride se distingue par des précipitations toutefois faibles et irrégulières, des reliefs monotones et des cours d'eau assez larges et peu profonds et des sols nus. À la lumière de ces résultats, nous pouvons donc conclure que les précipitations ne pas un effet linéaire sur l'érosion.

III.6. Validation de la carte de susceptibilité à l'érosion hydrique :

La courbe ROC :

Considérant l'évaluation de la performance des modèles de sensibilité à l'érosion des sols comme une étape clé dans la sélection et la comparaison des modèles (Sar et al. 2016). Les cartes de sensibilité à l'érosion des sols sont prises en compte Classification binaire, où l'indice de sensibilité a été divisé en deux classes (c'est-à-dire pas d'érosion du sol et érosion du sol), mesurée par la courbe ROC performances de classement. La courbe ROC est construit en traçant le taux d'intérêt réel positif (sensibilité) par rapport au taux de faux positifs (spécificité de 100) avec différents seuils coupé. L'aire sous la courbe ROC

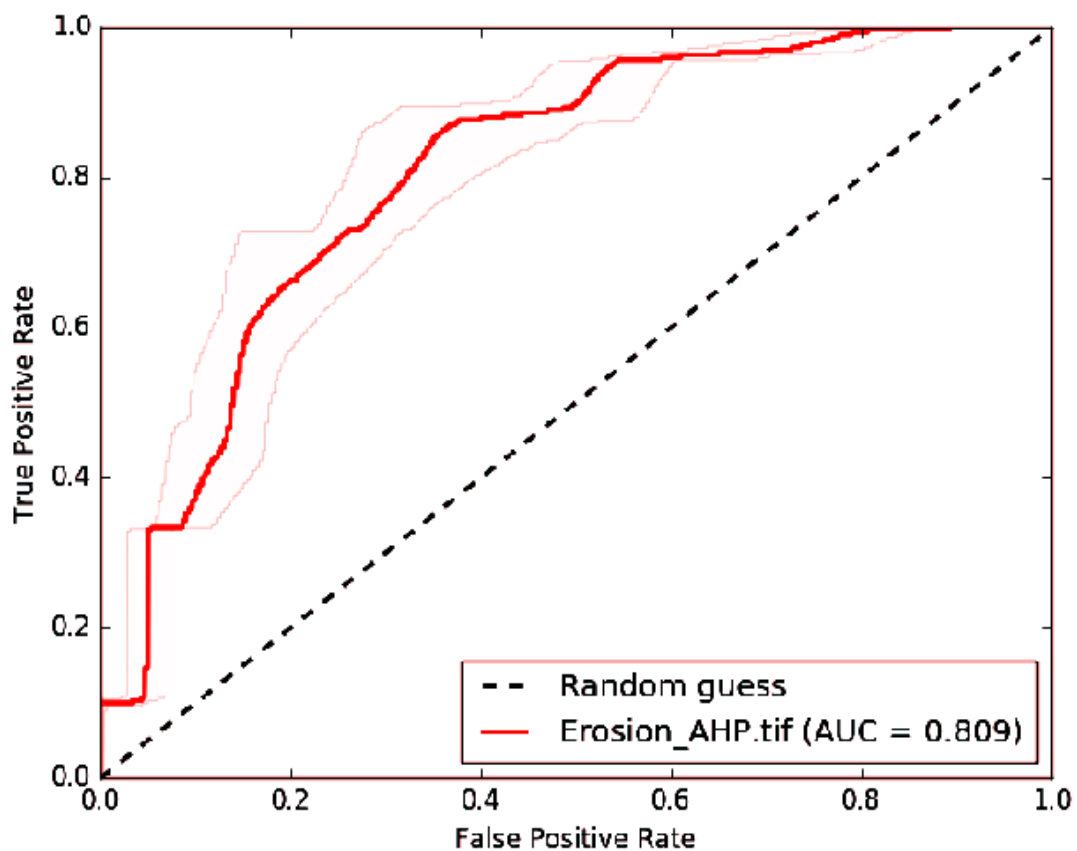


Fig. III.13 Courbe ROC.

Les résultats des courbes de taux de réussite et de taux de prédiction pour le modèle AHP sont illustrés aux Fig. III.12 Le modèle avec AHP a une valeur de 0.809 (80,90%), ce qui présente une assez bonne précision pour prédire la susceptibilité aux risques.

Conclusion :

Ce chapitre traite de la création de cartes de sensibilité à l'érosion des sols en utilisant la méthode d'analytique Hiérarchie Procès (AHP) et un Système d'Information Géographique (SIG) pour une étude de cas du bassin versant de l'oued Sahel (Soummam). De plus, afin de valider et d'évaluer la précision, la courbe ROC (Receiver Operating Characteristic) et l'aire sous la courbe ont été utilisées.

Conclusion générale

Conclusion générale

L'évaluation de l'érosion hydrique dans le sous-bassin versant de l'Oued Sahel Soummam, réalisée à l'aide des Systèmes d'Information Géographique (SIG) et de la méthode multicritère AHP, a abouti à des résultats significatifs et pertinents pour la gestion des ressources en eau et la prévention des risques associés à l'érosion. L'utilisation des SIG a permis de recueillir, stocker et analyser les données spatiales pertinentes, telles que la topographie, la couverture du sol, la pente et l'occupation du sol. Ces informations ont ensuite été utilisées pour créer une représentation cartographique détaillée du sous-bassin versant. Cette cartographie s'est révélée essentielle pour comprendre la répartition spatiale de l'érosion hydrique et pour identifier les zones les plus vulnérables. Grâce à la méthode multicritère AHP, une analyse approfondie des différents critères a été effectuée, permettant d'établir des priorités et d'attribuer des poids aux facteurs influençant l'érosion hydrique. Cela a contribué à une évaluation plus précise et fiable des risques liés à l'érosion dans le sous-bassin versant.

L'utilisation conjointe des SIG et de la méthode multicritère AHP a permis d'obtenir des résultats significatifs en fournissant une représentation cartographique détaillée de l'érosion hydrique dans le sous-bassin versant de l'Oued Sahel Soummam. Ces résultats revêtent une grande importance pour la gestion des ressources en eau et la mise en place de mesures préventives visant à réduire les risques liés à l'érosion. Il est important de noter que la méthode AHP intégrée dans un SIG a permis d'identifier les zones à risque d'érosion, et la carte obtenue a été divisée en cinq classes allant du risque "très faible" au risque "très fort". Les résultats ont révélé que 16,98% de la surface totale du bassin étaient classés dans la catégorie "très faible", 26,57% dans la catégorie "faible", 29,48% dans la catégorie "moyenne", 18,29% dans la catégorie "fort", et 8,66% dans la catégorie "très fort". Cette analyse permet de constater que les régions à haut risque d'érosion se situent principalement dans le nord du bassin versant, caractérisées par des précipitations fortes, extrêmement irrégulières et abondantes, ainsi que par des pentes relativement élevées.

Les résultats obtenus ont mis en évidence les zones présentant un risque élevé d'érosion hydrique, ce qui peut guider les décideurs dans l'élaboration de stratégies de conservation des sols et de gestion des terres. Les informations cartographiques générées peuvent également servir à mettre en place des mesures préventives ciblées, telles que l'aménagement de bandes enherbées le long des pentes, la construction de digues ou la restriction des pratiques agricoles intensives dans les zones les plus vulnérables. Ces mesures contribueront à réduire l'érosion et à préserver la santé des sols et des écosystèmes.

Références bibliographiques

Références bibliographies:

- [1] Laflen, J. M. and Roose, E. J. (1998) Methodologies for Assessment of Soil Degradation Due to Water Erosion
- [2]<http://www.fao.org/resources/infographics/infographics-details/fr/c/278960/>
- [3] Le Bissonnais Y., 2002 : L'érosion hydrique des sols, IFEN-INRA, pp10 -15
- [4] Demangeot, Jean (1994) Les milieux « naturels » du globe. Paris, Masson (Coll. « Géographie »), 5e édition, 313 p. (ISBN 2-225-84503-4). □
- [5] Stone, R.P. (2000) « Equation universelle des pertes en terre (USLE) », Ministère de l'Agriculture, de l'Alimentation et des Affaires Rurales de l'Ontario, Division Agriculture et Affaires Rurales, Guelph, 9 p.
- [6] Arnold, J.B., Wall, G., Moore, N., Baldwin, C.S., et Shelton, I.J. (1989) « Fiche technique : L'érosion du sol - Causes et Effets », Ministère de l'Agriculture, de l'Alimentation et des Affaires Rurales de l'Ontario, Division Agriculture et Affaires Rurales, Guelph, 7 p
- [7] Jim MUGANZA IGUNZI, L'usage des gouttières, comme moyen de lutte contre l'érosion hydrique dans la ville de Bukavu. Cas de la cellule muhungu ii en commune d'Ibanda, 2011.
- [8] Poesen, J., Nachtergaele, J., Verstraeten, G., et Valentin, C. (2003) « Gully erosion and environmental change: importance and research needs », Catena, 50 : 91-133.
- [9] De Vente, J., Poesen, J., et Verstraeten, G. (2005) « The application of semiquantitative methods and reservoir sedimentation rates for the prediction of basin sediment yield in Spain », Journal of Hydrology, 305: 63-86.
- [10] OUATTARA T., J-M. DUBOIS et J. HUGH (2003). MEH-SAFER : un nouveau modèle d'érosion hydrique pour les milieux semi-arides de forte énergie à partir d'images multisources et de données auxiliaires. Télédétection, 2-3-4, p. 151-163.
- [11] FRANCHIS, L. de, 2003. Les menaces sur les sols dans les pays méditerranéens : étude bibliographique. Plan bleu pour la Méditerranée. Valbonne: Plan bleu. Les Cahiers du Plan bleu, ISSN 1630-5329 ; 2. ISBN 2-912081-13-0.
- [12]<https://www.eaufrance.fr/les-impacts-de-lerosion>.
- [13] OCDE 1993. Jeu de base d'indicateurs de l'OCDE pour l'étude de performance environnementale. OECD Environment Monographs, 83. OCDE Paris.
- [14] King D, Le Bissonnais Y. Rôle des sols et pratiques culturales dans l'infiltration et l'écoulement des eaux: exemple du ruissellement et de l'érosion sur les plateaux

limoneux du nord de l'Europe. CR Acad Agric Fr 1992; 78 : 91 -105.

- [15] VEIHE A. (2002). The spatial variability of erodibility and its relation to soil types: a study from northern Ghana. *Geoderma*, 106, 101-120.
- [16] A. Cheggour, Mesures de l'érosion hydrique à différentes échelles spatiales dans un bassin versant montagneux semi-aride et spatialisation par des SIG : application au bassin versant de la Rhéraya, haut Atlas, Maroc, thèse de doctorat (2008).
- [17] J.J.P. Gerits, De Lima J.L.M.P et Van Den Broek T.M.W. (1990). Overland flow and érosion, in process studies in hillslope hydrology, édité par M.G. Anderson et T.P. Burt, 173-214, John Wiley & Sons Ltd, Angleterre. In Lajili, (1999).
- [18] J. Boiffin, La dégradation structurale des couches superficielles du sol sous l'action des pluies. Thèse de doctorat, Institut National Agronomique Paris, (1984).
- [19] Leguedois et al ; Splash projection distance for aggregated soils : theory and experiments. *Soil Science Society of America Journal* 69, (2005) 30-37.
- [20] L. Lajili, L'érosion hydrique en zone semi-aride tunisienne : modélisation, estimation des paramètres et application à l'aménagement anti-érosif. Thèse de doctorat, université GENT.215(1999).
- [21] J.J.P. Gerits, De Lima J.L.M.P et Van Den Broek T.M.W. (1990). Overland flow and érosion, in process studies in hillslope hydrology, édité par M.G. Anderson et T.P. Burt, 173-214, John Wiley & Sons Ltd, Angleterre. In Lajili, (1999).
- [22] S. Leguedois, Mécanismes de l'érosion diffuse des sols : modélisation du transfert et de l'évolution granulométrique des fragments de terre érodés. Thèse Université Orléans, INRA, 167(2003).
- [23] Auzet et al. (1995) ; Le Bissonnais, L'érosion hydrique des sols en France, (2005).
- [24] I. Douglas, Sédiment yields from forested and agricultural lands. In: Proc. Symp. On The Role of Water in Agriculture, University of Wales, Aberystwyth, Memorandum No. 12, pp. E1-E22 (1969).
- [25] Govers et al., Soil roughness and overland flow. *Agronomie*, 20(2000)131-146.
- [26] R. Gimenez et G. Govers, Flow détachement by concentrated flow on smooth and irregular beds. *Soil Science Society of America Journal*, 66(2002)1475-1483.
- [27] Yalin, *Méchanics of sediment transport*, Pergamon Press, Oxford (1980).
- [28] P.Y. Julien. *Erosion and sedimentation*, Cambridge University Press, 280 (1994).
- [29] E. Maneux, *Erosion mécanique des sols et transports fluviaux de matières en suspension :*

Application des Systèmes d'Information Géographique dans les bassins versants de l'ADOUR, de la DORDOGNE et de la GARONNE. Thèse de Doctorat. Université Bordeaux 1. 252(1998).

[30] F. Nalouf, Estimation du bilan hydrologique à l'échelle du bassin versant de la Soummam,

Mémoire présenté pour l'obtention du diplôme de Master II, (2010-2011)

[31] extrait de la carte hydro climatologique de surveillance de la qualité de l'eau dressée par l'ANRH, 2005)

[32] (A.N.R.H., 1979, 1980)

[33] F. Nalouf, Estimation du bilan hydrologique à l'échelle du bassin versant de la Soummam, Mémoire présenté pour l'obtention du diplôme de Master II, (2010-2011).

[34] A. Bechroune, Elaboration d'une base de données hydrologique du bassin versant de la Soummam via le modèle hydrologique HEC-HMS, Mémoire présenté pour l'obtention du diplôme de Magister, (2011).

[35] C.Tarek /H.Mohamed said , Modélisation de l'érosion hydrique des sols dans le bassin versant de l'Oued Sahel (Soummam),diplôme master (2017)