

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 : SCIENCE ET TECHNIQUE

FILIERE : HYDRAULIQUE

OPTION : Ouvrages hydrauliques et
Aménagement

Mémoire présenté pour l'obtention
Du diplôme de Master Académique

Par : CHIKHI Taraq

HAMICHE Mohamed Said

Intitulé

**Modélisation de l'érosion hydrique des sols
dans le bassin versant de l'Oued Sahel
(Soummam)**

Soutenu devant le jury composé de :

Mr. HASBAIA Mahmoud	Université Mohamed BOUDIAF - M'sila	Président
Mr. MOKHTARI El Hadj	Université Mohamed BOUDIAF - M'sila	Rapporteur
Mr. HAMIDOU Mohamed	Université Mohamed BOUDIAF - M'sila	Examineur

Année universitaire : 2016 /2017

Remerciement

Je remercie tous d'abord Allah et clément de m'avoir donné le courage pour terminer ce projet de fin d'études, pour les efforts qui nous a donné, pour pouvoir réaliser ce modeste travail

Je tiens à présenter mes remerciements les plus sincères à mon promoteur Monsieur MOKHTARI E.L.H pour sa générosité, sa gentillesse, sa patience et ses précieux conseils pour l'établissement de ce travail.

Pour la documentation et les conseils prodigués.

Je remercie l'ensemble des enseignants du département d'hydraulique.

Je remercie les membres de jury qui m'ont honoré de leur présence. Enfin je remercie tous mes amis pour leurs soutiens.

Enfin, je remercie tous ceux qui ont contribué de près ou de loin, pour Leurs soutiens moraux ou matériels, dans la réalisation de ce projet.

DÉDICACE -1-



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

Mes très chers parents, ma très Chère mère, pour les sacrifice tout au long de ma vie ;

Toute ma grande famille ;

ma femme ;

Mes frères ;

Tous mes amis sans exception ;

Toute la promotion 2016 et la promotion 2017 du O.H.A et H.U ;

Mon cher binôme mohamed said et sa famille ; Et à tous ceux que j'aime et ceux qui pensent à moi.



DÉDICACE -2-



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

Mes très chers parents, ma très Chère mère, pour les sacrifice tout au long de ma vie ;

Toute ma grande famille ;

Mes frères ;

Tous mes amis sans exception ;

Toute la promotion 2016 et la promotion 2017 du O.H.A et H.U ;

Mon cher binôme chikhi tareq et sa famille ; Et à tous ceux que j'aime et ceux qui pensent à moi.



A decorative border composed of a repeating geometric pattern of small squares and lines, framing the entire page.

Sommaire

Sommaire

Liste des figures
Liste des tableaux

Chapitre I : Recherche bibliographique sur l'érosion

Introduction générale.....	1
I.1.Introduction.....	2
I.2. Les processus de l'érosion hydrique.....	3
I.2.1. Détachement des particules de sol	4
I.2.2. Transport des particules	5
I.2.3. Dépôt.....	6
I.3. Causes et des conséquences de l'érosion des sols.....	7
I.3.1. Les Causes	8
I.3.2. Les conséquences	8
I.4. Types d'érosion	9
I.4.1. L'érosion éolienne	9
I.4.2. L'érosion aratoire ou mécanique sèche	9
I.4.2.1. Facteurs d'érosion mécanique	9
I.4.2.2. L'orientation du travail du sol	9
I.4.3. L'érosion hydrique	10
I.4.3.1. Erosion en nappe	10
I.4.3.2. Erosion linéaire	11
I.4.3.3. Erosion en masse	12
I.5 Quantification de l'érosion.....	13
I.6. Conclusion partielle.....	22

Chapitre II: Description du bassin versant de l'oued sahel

(Soummam)

II.1.Notion du bassin versant.....	23
II.2.Situation géographique du bassin versant de l'oued sahel (Soummam)	24
II.3.Les conditions climatiques de la région.....	26
II.3.1.Le climat littoral.....	26
II.3.2.Le couvert végétal.....	26

II.3.3.La géologie.....	27
II.4.Les sols.....	27
II.5.Caractéristiques physiques.....	29
II.5.1.Paramètres morpho métriques	30
II.5.2.Paramètres du relief.....	31
II.5.3.Indices de pente et relief.....	33
II.5.4.Le réseau hydrographique.....	35
II.5.5.Degré de développement du réseau hydrographique.....	35
II.7. Conclusion partielle.....	37

Chapitre III: Évaluation et cartographie des risques d'érosion par l'équation USLE

III.1. Introduction.....	39
III.2. Méthodologie.....	40
III.4. L'équation universelle des pertes de sol.....	41
III.4.1. Calcul du facteur d'agressivité des précipitations (R).....	41
III.4.2. Détermination du facteur d'érodibilité des sols (K).....	43
III.4.3. Détermination du facteur topographique (LS).....	46
III.4.4. Détermination du facteur occupation des sols (C).....	48
III.4.5. Facteur de conservation (P).....	50
III.5. Evaluation des pertes en sol.....	51
III.6. Conclusion partielle.....	52
Conclusion générale.....	53

List des figures

List des figures

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.....	4
Figure I.3 : Diagramme de Hjulström	6
Figure I.4 : Mode de transport des particules dans les cours d'eau	7
Figure I.5 : Erosion en nappe	10
Figure I.6 : Principaux types de l'érosion hydrique	11
Figure I.7 : Différentes formes d'érosion en masse	13
Figure I.8 : Abaque d'Erodabilité de sol K	16
Figure I.9. Facteur topographique en fonction de la longueur de la pente et de son inclinaison.....	18
Figure I.10 : Couvert végétal	19
Figure II.1 : Distinction entre bassin versant réel et bassin versant topographique	23
Figure II.2 : Localisation du bassin versant de l'oued sahel (Soummam)	24
Figure II.3 : Les sous bassins versants de l'oued sahel (Soummam) (<i>extrait de la carte hydro-climatologique de surveillance de la qualité de l'eau dressée par l'ANRH, 2005</i>)...	25
Figure II.4 : Carte géologique du bassin versant de l'oued sahel (Soummam)	28
Figure II.5 : Carte des sols du bassin versant de l'oued sahel (Soummam)	29
Figure II.6 : Courbe hypsométrique du bassin versant de l'oued sahel	32
Figure II.7 : Carte du réseau hydrographique du bassin de l'oued sahel	35
Figure III.1 : Organigramme méthodologique de l'intégration de l'USLE dans le SIG	40
Figure. III.2 : Distribution des valeurs du facteur R (<i>Calculées d'après la formule de Rangoet Arnoldus, 1987</i>)	42
Figure.III.3 : Carte géologique du bassin versant de l'Oued sahel	44
Figure.III.4 : Répartition des classes des valeurs du facteur K dans le bassin versant de l'Oued Sahel	45
Figure III.5: Distribution des classes du facteur (LS) dans le bassin versant de l'Oued sahel.....	47
Figure III.6. a) Diagramme expérimental d'estimation du facteur C de <i>Gitas et al, (2009)</i> , b) relation entre le facteur « C » et le NDVI.....	49

Figure III.7 : Distribution spatiale des principales valeurs du facteur <i>C</i> pour le mois de <i>Juin</i> dans le bassin versant Oued Sahel	50
Figure III.8 : Distribution spatiale des principales valeurs du facteur (P) dans le bassin versant sahel	51
Figure III.9 : Distribution des pertes en sols dans le bassin versant Oued Sahel	52

A decorative border composed of a repeating geometric pattern of small squares and lines, framing the entire page.

Liste des tableaux

List des Tableau

Tableau II.1 : Superficie des sous bassins versants de l'oued sahel(Soummam) (A.N.R.H.,1979,1980).....	26
Tableau II.2 : Classification du relief selon Ig par ORSTOM	33
Tableau II.3. Classification du relief selon la densité spécifique D_s.....	34
Tableau II.4 : Caractéristiques du bassin versant de l'oued sahel	34
Tableau II.5 :Caractéristiques géométriques et hydromorphométriques du bassin.....	35
Tableau III.1 : Précipitations moyennes mensuelles (mm), annuelles (mm) et valeur moyen[ANRH, 4]	41
Tableau III.2 : Classes des valeurs du facteur R Oued sahel	43
Tableau III.3 : L'érodibilité des sols	44
Tableau III.4 : Classes des valeurs du facteur k Oued sahel.....	46
Tableau III.5 : Classes des valeurs du facteur LS Oued sahel.....	47
Tableau III.6:Indice cultural (C) de quelques cultures (Masson,1971)	48
Tableau III.7 : Classes des valeurs du facteur C Oued sahel.....	50
Tableau III.8:Les valeurs du facteur (P).....	51
Tableau III.9 : classes de risque d'érosion.....	53

A decorative border composed of a repeating geometric pattern of small squares and lines, framing the entire page.

Introduction

Générale

Introduction générale

Dans le monde, l'érosion est une menace environnementale majeure pour la durabilité et la capacité productive de terres. Elle constitue le processus de dégradation des terres le plus actif et elle dégrade également la ressource la plus importante pour la survie de l'humanité.

Au sein de ce décor fâcheux, le nord d'Algérie est considéré comme la plus sensible à l'érosion. Les sols de cette région, tels qu'ils se présentent aujourd'hui, résultent des interactions entre les processus naturels de la pédogenèse, de l'érosion et des activités des sociétés humaines, qui sont parmi les plus anciennes au monde à pratiquer l'agriculture. Dans cette région, rares sont les sols qui ont pu se développer sans être marqués, plus ou moins profondément, par l'action directe ou indirecte de l'homme.

Parmi les zones exposées à l'érosion au Nord d'Algérie, on peut citer le bassin versant Oued sahel, qui est connu par ses reliefs et climat variés.

Ce travail a pour objectif la cartographie des risques d'érosion de ce bassin en utilisant l'équation universelle des pertes en sols (USLE). L'étude sera réalisée en plusieurs étapes :

Une recherche bibliographique sur l'érosion sera développée dans le **chapitre I**. Le **chapitre II** sera consacré à la description du bassin versant de sahel. Présentation d'un système d'information géographique (SIG) en général et le logiciel Arc GIS et L'évaluation et la cartographie des risques d'érosion par l'équation USLE fera l'objet du **chapitre III**. Une conclusion générale et les perspectives pour futures études sur le tout le bassin du sahel viendra clore cette contribution.

Chapitre I :

*Recherche bibliographique
sur l'érosion*

Chapitre I. Recherche bibliographique sur l'érosion

I.1. Introduction

L'érosion du sol est un phénomène naturel ou géologique dans lequel les particules du sol sont détachées et déplacées par plusieurs principaux facteurs qui sont : la pluie, la végétation, le sol, la géomorphologie (pentes en particulier) et les impacts de l'utilisation des sols par l'homme. Ce phénomène naturel a un impact très néfaste au niveau régional, dépend d'une multiplicité de facteurs interagissant entre eux, et sont de ce fait complexes à modéliser, ce qui nécessite beaucoup d'études et de mesures sur le terrain. L'érosion peut prendre différentes formes qui se combinent dans le temps et dans l'espace : l'érosion en nappe ou en rigoles et l'érosion linéaire ou ravinaient elle a de graves conséquences sur notre environnement, sur nos activités et peut causer des dommages importants. Les mesures de perte en terre sont exprimées localement comme la masse nette de sol perdu pendant une certaine période pour une surface donnée (échelle parcellaire). La production en sédiment, quant à elle, est définie comme la masse de sédiment émise par un bassin versant de taille quelconque pendant une période donnée.

I.2. Les processus de l'érosion hydrique [1]

L'érosion hydrique est un phénomène complexe qui résulte de trois phases : détachement, transport et dépôt (Fig. I.1), causés par l'action en général combinée de la pluie et du ruissellement, et dont l'expression varie en fonction de la résistance du milieu (sol, couvert végétal, techniques culturales) et de la topographie. Quelle que soit l'échelle d'étude, du mètre Carré au bassin versant de centaines de km², on retrouve partout ces trois phases de l'érosion mais avec des intensités différentes; d'où la diversité des facteurs de l'érosion en fonction des phases dominantes.

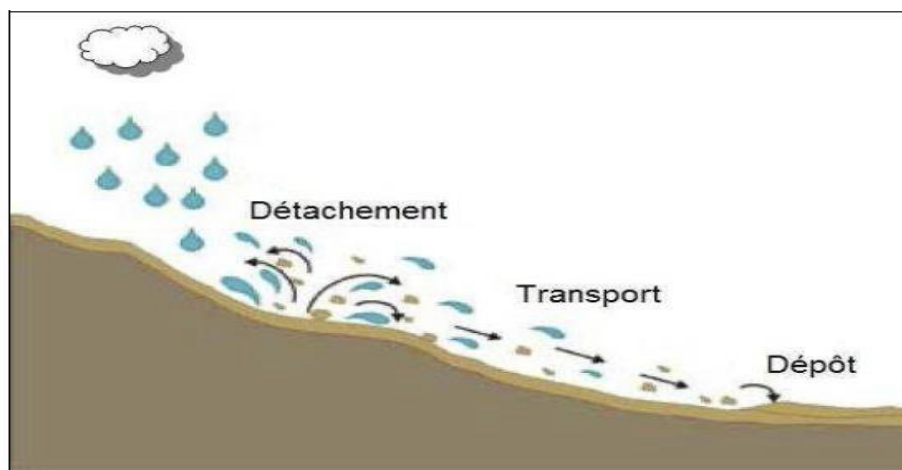


Figure I.1. Processus de l'érosion hydrique [2]

I.2.1. Détachement des particules de sol

La pluie est reconnue depuis longtemps comme un agent essentiel de l'érosion des sols. L'énergie et l'eau apportées par les gouttes de pluie sont à l'origine de la déstructuration des agrégats présents à la surface ; du détachement de fragments de sol et de leur transfert. Le détachement mobilisant les fines particules de la surface du sol peut être assuré de deux manières: La première correspond au rejaillissement des particules sous l'impact des gouttes de pluie (splash). Dans ce cas, il s'opère sur toute la surface du sol exposée aux pluies. L'importance du flux de détachement est contrôlée essentiellement par l'énergie cinétique des gouttes de pluie, elle-même fortement corrélée par l'intensité pluviale, et variable en fonction du couvert végétal. Les caractéristiques du sol (texture, taux de matière organique, etc.) influencent également le processus de splash. L'impact des gouttes de pluie brise les agrégats du sol en éléments plus fins qui progressivement entraînent la formation d'une croûte superficielle de quelques millimètres appelée aussi «croûte de battance» (Fig. I.2). Celle-ci entraîne une diminution notable de l'infiltration de l'eau dans le sol. Le sol n'étant plus en mesure d'absorber les pluies, l'excès d'eau s'accumule en surface (formation de flaques) puis ruisselle en transportant éventuellement des particules de sol et des nutriments.

La surface du sol est composée d'éléments déformables et mobiles : des micro-agrégats (< 250 µm), des macro-agrégats constitués de plusieurs micro-agrégats (<1- 2 cm) et des particules élémentaires. L'impact des gouttes de pluie a pour effet de désagréger les éléments présents à la surface du sol pour donner lieu à des agrégats de plus petite taille et des particules élémentaires. Les particules ainsi décomposées sont détachées et éjectées par

l'impact des gouttes de pluie. Une fois détachées, la distance moyenne de projection des particules peut atteindre de 10 à 20 cm [3] c'est-à-dire beaucoup plus que l'observation visuelle du phénomène ne le laisse supposer. Plusieurs travaux de recherche dans leurs études de l'érosion ont intégrés plusieurs paramètres liés à la pluie tels que : l'intensité de la pluie, la vitesse, la forme, le diamètre des gouttes et l'énergie cinétique pour la modélisation de cette composante de l'érosion. Ainsi, les relations établies entre l'érosion et la pluie sont des relations empiriques déduites des résultats expérimentaux et des paramètres empiriques [4]

Les paramètres du sol qui semblent affecter le détachement du sol par effet des gouttes de pluie sont la stabilité et le diamètre des agrégats, la densité apparente, le potentiel matriciel et la force de cisaillement du sol [5]

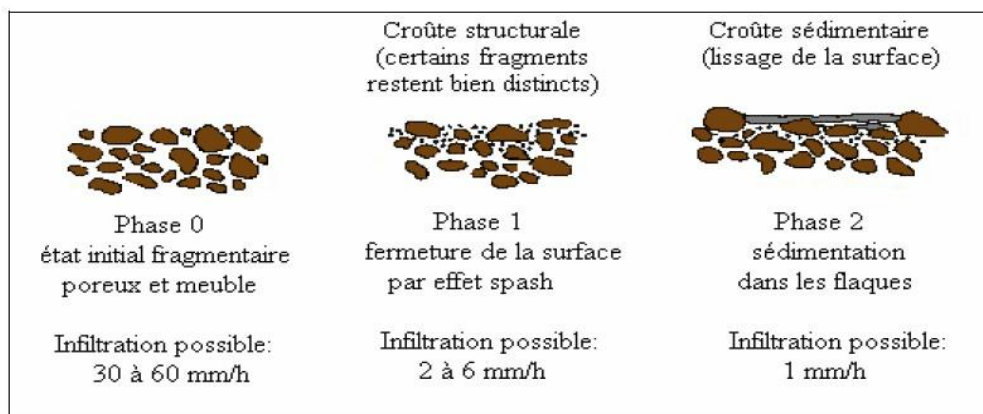


Figure I.2. Les stades de dégradation de la surface du sol sous l'action des pluies [6]

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.

I.2.2. Transport des particules

Le vecteur de transport est ici le ruissellement superficiel. Il est généré soit par saturation de la porosité du sol (mécanisme de Dune), soit par refus à l'infiltration dû à une pluie dont l'intensité est supérieure à la capacité d'infiltration de la surface du sol (mécanisme d'Horton) [7]. Ce phénomène est donc dépendant du type de pluie et de sol.

Plusieurs auteurs ont signalé que la génération du ruissellement est influencée par l'état de surface du sol [8]. D'autres auteurs ont montré que les variations de ruissellement et d'érosion dépendent des changements du couvert végétal et de la gestion des utilisations de la terre [9].

Le ruissellement sur les versants prend des formes variées. Il est d'abord diffus, très peu épais et étendu sur de grandes surfaces (ruissellement en nappe), plus à l'aval il s'organise en se concentrant dans des rigoles qui peuvent devenir des ravines pérennes. Les propriétés de l'écoulement, volume ruisselé, hydraulique et distribution spatiale, sont aussi fortement dépendantes de la rugosité de la surface [10]. Le ruissellement a un rôle déterminant dans le transport du matériel mobilisé mais également dans le détachement des particules. En l'absence de ruissellement, les particules de sol détachées par la pluie ne sont pas transportées très loin. Les principales variables qui contrôlent l'action du ruissellement sur le détachement et le transport de particules sont la pente, la vitesse et l'épaisseur de l'écoulement [11].

L'écoulement de l'eau sur le sol exerce une action cisailant sur les grains de surface qui est d'autant plus forte que la vitesse du courant est importante. Le sol quant à lui offre une résistance au détachement de ses grains superficiels qui peut être assimilé à une sorte de résistance eau cisaillement.

La vitesse à laquelle les grains sont enlevés par l'écoulement dépend de la dimension de ces grains. C'est la vitesse dite critique, qui est relativement élevée pour les grains de très faibles dimensions car leur cohésion est très forte. Si la dimension des grains s'accroît, la vitesse critique décroît, jusqu'à un seuil (estimé par Hjulström) de 0,2 mm à partir duquel la vitesse nécessaire à l'arrachage s'accroît à nouveau (Fig. I.3).

Une fois arraché, le grain peut être transporté, même avec des vitesses d'écoulement inférieures, à condition toutefois que ces vitesses ne deviennent pas inférieures à la vitesse limite pour la sédimentation des grains qui elle dépend directement de la taille des particules.

Dès que les particules sont érodées du sol ou arraché au lit de l'oued et transportées dans les cours d'eau, on parle de transport solide. Deux grands modes de transport des

particules peuvent être distingués (Fig. I.4) : le transport de fond et le transport en suspension [12].

Pour une taille de grain donnée, le mode de transport est fixé 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 passer peu de temps en contact avec le fond [13]. Les particules se trouvent emportées par l'eau tant que la vitesse d'écoulement reste supérieure à la vitesse limite de maintien en suspension (dépendant de leur granulométrie). Dans le cas contraire, on observe une décantation et une sédimentation des matériaux. Les matières en suspension sont des particules de petites tailles : argiles, limons et sables, qui physiquement peuvent être transportées sur de longues distances.

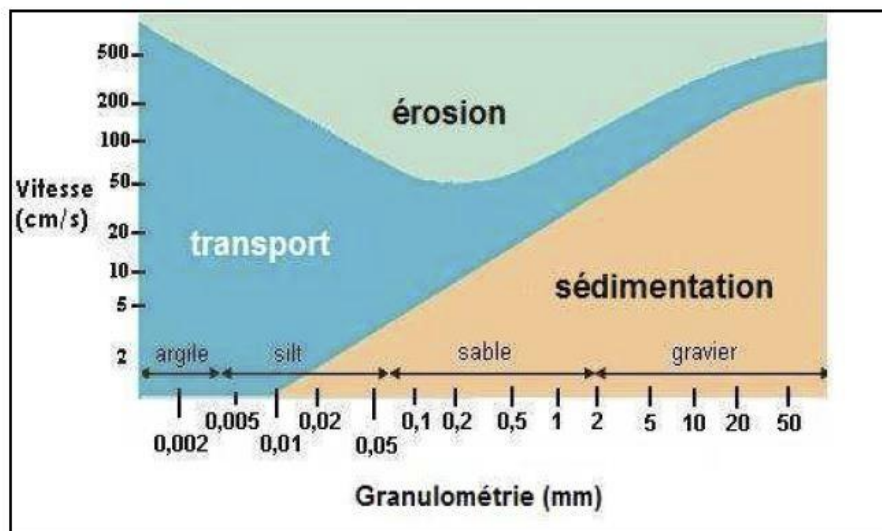


Figure I.3. Diagramme de Hjulström [1]

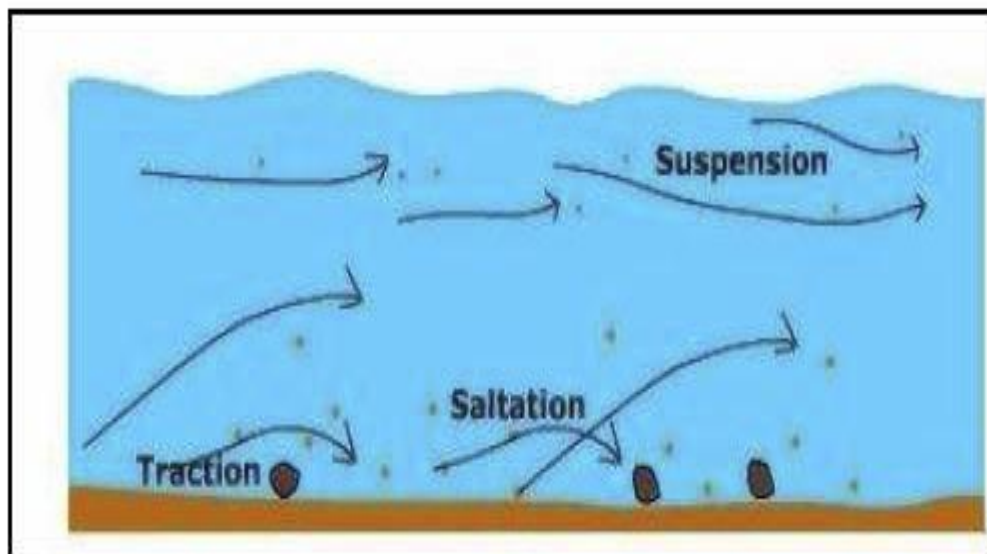


Figure I.4. Mode de transport des particules dans les cours d'eau [1]

I.2.3. Dépôt

Les particules, qu'elles soient arrachées au fond d'une rivière ou qu'elles proviennent du ruissellement et de l'érosion des sols, sont soumises à de nouvelles contraintes une fois qu'elles se trouvent dans un nouvel environnement : la colonne d'eau [14]. Le dépôt des sédiments se produit lorsque le courant n'est plus capable de maintenir les particules en suspension et résulte d'un ralentissement de la vitesse d'écoulement dont les causes peuvent être multiples. Ainsi, le diagramme d'Hjulström permet de relier la vitesse de sédimentation du courant avec le diamètre des particules. La granulométrie des particules, la texture des sédiments, la géométrie des dépôts sont d'importants indices sur l'agent de transport, sa vitesse au moment du dépôt, sa direction, etc.

I.3. Causes et des conséquences de l'érosion des sols [15]

I.3.1. Les Causes

- La texture des sols est un des facteurs principaux de l'érosion des sols. Les sols limoneux sont très propices à la battance, phénomène qui les rend imperméables et qui augmente le ruissellement des eaux.
- L'agrandissement des parcelles agricoles suite aux nombreux remembrements accroît les risques d'érosion des sols en créant des conditions favorables au ruissellement des eaux (augmentation de la vitesse d'écoulement des eaux notamment).

- La diminution des surfaces toujours en herbe participe au phénomène d'érosion des sols. Les prairies assurent un couvert permanent qui tamponne efficacement les eaux de ruissellement.
- La disparition des fossés qui accompagne souvent l'agrandissement des parcelles exacerbe le problème d'érosion des sols. Les fossés permettent de maîtriser la circulation des eaux de ruissellement et d'éviter leur accumulation sur les parcelles agricoles.
- La destruction du maillage bocager, telles les haies ou les talus a souvent accompagné les anciens remembrements agricoles. Ces éléments paysagers jouent pourtant un rôle primordial dans la gestion des eaux et représentent des obstacles naturels au ruissellement des eaux sur un versant.
- Les traces de roues générées par des passages d'engins répétés et des outils non adaptés (pneumatiques par ex.) créent des chemins préférentiels pour les eaux de ruissellement, augmentent les risques d'accumulation sur la parcelle et donc de formation de ravines.
- Le labour parallèle à la pente accroît fortement la vitesse de ruissellement des eaux.
- Les sols laissés nus l'hiver favorisent l'érosion des sols en diminuant les capacités d'infiltration des sols.
- Une urbanisation mal maîtrisée augmente l'imperméabilisation des sols et donc les vitesses de ruissellement des eaux. Les constructions dans les zones à risques de coulées de boue et d'inondations doivent parfois supporter des dégâts matériels importants.

I.3.2. Les conséquences

- L'érosion des sols qui peut se manifester par la formation de ravines et provoquer des coulées de boues sur la voirie et dans les villages.
- La rivière brune chargée en limons provenant des versants. La qualité de l'écosystème s'en trouve dégradée (colmatage des frayères, diminution de l'oxygène dissout nécessaire à la vie aquatique etc.)
- L'augmentation des crues des rivières avec l'arrivée massive des eaux de ruissellement provenant du bassin versant.

I.4. Types d'érosion

I.4.1. L'érosion éolienne

Le vent exerce sur les particules solides au repos une pression sur la surface exposée au flux d'air, appliquée au-dessus du centre de gravité, auquel s'oppose un frottement centré sur la base des particules. Ces deux forces constituent un couple tendant à faire basculer et rouler les particules lourdes (0,5 à 2 mm), de plus, la différence de vitesse entre la base et le sommet des particules provoque leur aspiration vers le haut. Les particules les plus légères s'élèvent à la verticale jusqu'à ce que le gradient de vitesse ne les porte plus. Elles retombent alors, poussées par le vent, suivant une trajectoire sub-horizontale. En retombant, ces grains de sable transmettent leur énergie à d'autres grains de sable (comme dans un jeu de boules) ou se dégradent les agrégats limono-argileux en dégageant de la poussière [16].

L'érosion éolienne prend de l'importance en Afrique de l'Ouest dans les zones tropicales sèches, là où la pluviosité annuelle est inférieure à 600 mm, où la saison sèche s'étend sur plus de six mois et où la végétation de type steppique laisse de larges plaques de sol dénudé. Ailleurs, elle peut aussi se développer dans des conditions de préparation du sol qui amènent une pulvérisation importante des matériaux superficiels secs.

I.4.2. L'érosion aratoire ou mécanique sèche

Ce phénomène d'érosion n'est pas dû à l'intervention de l'eau, c'est le travail du sol qui arrache les particules, les transporte et les dépose soit en bas de parcelle, soit en talus.

I.4.2.1. Facteurs d'érosion mécanique

Les facteurs influençant la quantité de terre déplacée sont:

- Le type d'outil
- La fréquence des passages
- La pente. Plus la pente est forte, plus les mottes de terres détachées roulent vers le bas. C'est ce qui

C'est ce qui explique que les sommets des collines sont souvent décapés.

I.4.2.2. L'orientation du travail du sol

Celui-ci peut être orienté soit en courbes de niveaux, soit du haut de la parcelle vers le bas (Ce qui est le cas pour les tracteurs travaillant sur des pentes supérieures à 15 %), soit du

bas de la parcelle vers le haut (pour le travail manuel notamment). Il est très rare que la terre soit remontée par les outils. Par contre, il arrive qu'en montagne et dans les zones où la terre est rare, que l'on récupère mécaniquement ou dans des petits paniers de la terre dans la plaine pour la remonter dans la montagne, c'est le cas sur les vignes. On constate aussi que l'aller et le retour des outils peuvent réduire considérablement la vitesse du décapage par l'érosion mécanique sèche [17].

I.4.3. L'érosion hydrique

I.4.3.1. Erosion en nappe [18]

L'érosion en nappe est liée à deux mécanismes (Fig. I.5) : détachement des particules de terre causé par le choc de gouttes des pluies (effet splash) ; le ruissellement superficiel lorsque l'intensité de la pluie devient supérieure à la vitesse d'infiltration (ruissellement Hortonien).

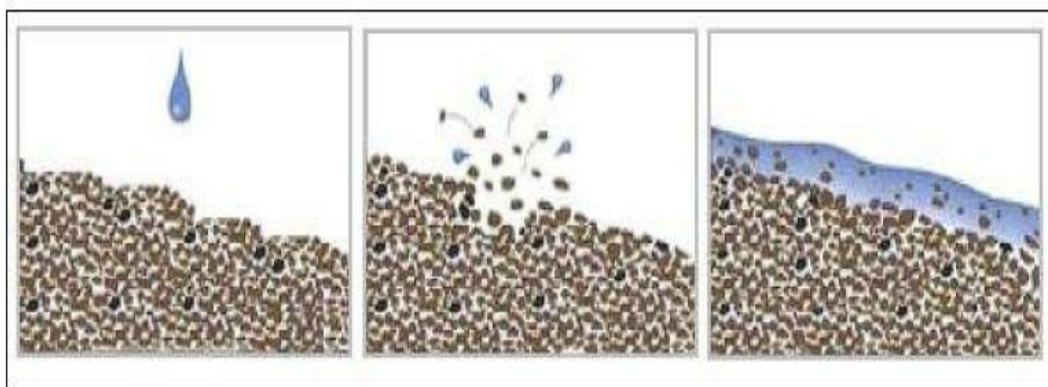


Figure I.5. Erosion en nappe [1]

L'érosion en nappe provoque l'enlèvement plus ou moins uniforme d'une mince couche ou "nappe" de sol, parce que l'énergie des gouttes de pluie s'applique à toute la surface du sol et le transport des matériaux détachés s'effectue par le ruissellement en nappe. C'est le stade initial de la dégradation des sols par érosion.

L'érosion en nappe entraîne la dégradation du sol sur l'ensemble de sa surface. De ce fait elle est peu visible d'une année à l'autre puisqu'une érosion importante de 15 à 30 t.ha-1.an-1 correspond à une perte de hauteur de 1 à 2 mm. Elle se manifeste sur le terrain par la prépondérance de taches de couleur claire, témoignage d'un lessivage aussi bien de la matière organique que des particules fines et aussi par la dégradation des mottes et la formation de diverses croûtes.

Conséquences de l'érosion en nappe

Le nivellement de la surface du sol par dégradation des mottes et remplissage des creux.. Il s'ensuit des croûtes diverses, lisses et blanchies .La squelettisation des horizons superficiels par perte sélective des matières organiques et des argiles, laissant en place une couche de sable et de gravier, plus claire que l'horizon humifère sous-jacent. Le décapage de l'horizon humifère laissant des plages de couleur claire ; l'horizon minéral sous-jacent apparaît à l'air libre.

I.4.3.2. Erosion linéaire [18]

Lorsque l'intensité des pluies dépasse la capacité d'infiltration de la surface du sol, il se forme d'abord des flaques, ensuite ces flaques communiquent par des filets d'eau et lorsque ces filets d'eau ont atteint une certaine vitesse, 50 cm par seconde d'après Hjulström (1935), ils acquièrent une énergie propre qui va créer une érosion limitée dans l'espace au niveau de lignes d'écoulement (Fig. I.6). Lorsque le ruissellement est ainsi concentré, la vitesse augmente, l'érosion n'est plus sélective et creuse des rigoles et des ravines.

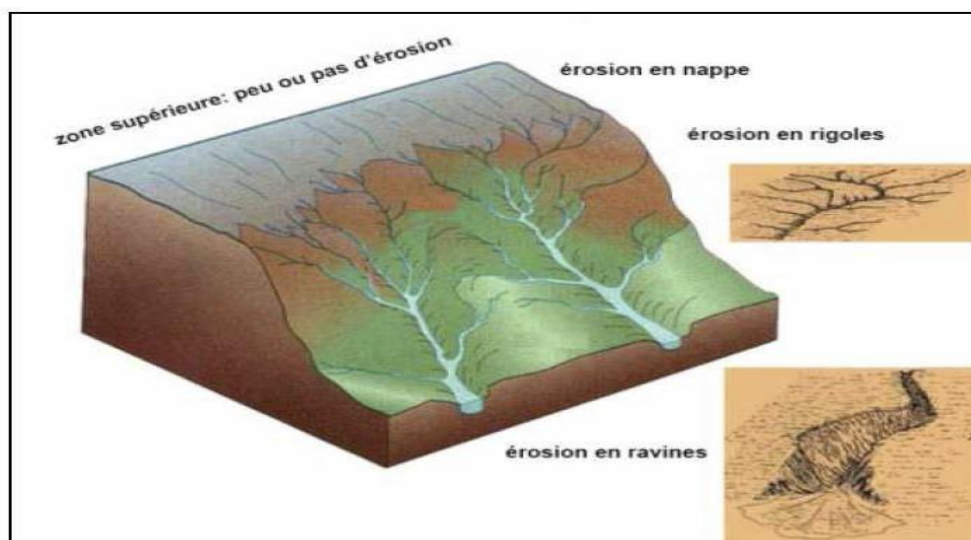


Figure I.6. Principaux types de l'érosion hydrique [1].

L'érosion linéaire provoque donc un décapage total de l'horizon humifère et de l'ensemble des matériaux meubles sur la largeur concernée par les chemins de l'eau. On parle de griffes, lorsque les petits canaux ont quelques centimètres de profondeur, de rigoles, lorsque les canaux dépassent 10 cm de profondeur et de ravines lorsque les creux atteignent plusieurs dizaines de cm (plus de 50 cm).

I.4.3.3. Erosion en masse [18]

Alors que l'érosion en nappe s'attaque à la surface du sol, le ravinement aux lignes de drainage du versant, les mouvements de masse concernent un volume à l'intérieur de la couverture pédologique. Les phénomènes de mouvement de masse sont très nombreux mais on peut les regrouper en six groupes principaux :

1. Les glissements lents (Creeping)

C'est un glissement plus ou moins lent des couches superficielles de la couverture pédologique, généralement sans décollement, qui s'observe assez généralement sur les pentes fortes, grâce à la forme couchée des jeunes plantes forestiers et à la forme en crosse de la base des arbres adultes. Dans les zones sylvopastorales, la circulation des animaux le long des versants peut également entraîner la formation d'escaliers encadrés par des réseaux de fissures [19].

2. Les glissements rapides

Les glissements de terrain en planches sont des décollements d'une couche plus ou moins épaisse de sol, glissant sur un horizon plus compact (souvent de la roche altérée), servant de plan de glissement. Ce phénomène est très courant sur les schistes dont le pendage est parallèle à la topographie (pendage conforme) sur les gneiss et sur les marnes en voie d'altération.

3. Les versants moutonnés

Formes molles apparaissant dans des conditions humides lorsque les horizons superficiels dépassent le point de plasticité et progressent lentement, comme une pâte dentifrice, entre la trame de racines qui retient l'horizon de surface et l'horizon compact imperméable que représente l'altérité des marnes ou des argilites par exemple.

4. Les coulées boueuses (lave torrentielle) [20]

Ce sont des mélanges d'eau et de terre à haute densité ayant dépassé le point de liquidité et qui emportent à grande vitesse des masses considérables de boue et de blocs de roches de taille imposante (Fig. I.7). Lorsqu'elles viennent de se produire, elles se présentent sous forme d'un canal terminé par une langue de matériaux de texture très hétérogène (cône de déjection). Les matériaux fins sont repris ultérieurement par l'érosion hydrique en nappe ou en rigole, laissant en place une masse de cailloux et de blocs de taille très hétérogène. Elles

apparaissent souvent à la suite d'un glissement en planche ou dans une ravine lors d'une averse exceptionnelle nettoyant les altérites accumulées depuis quelques années.

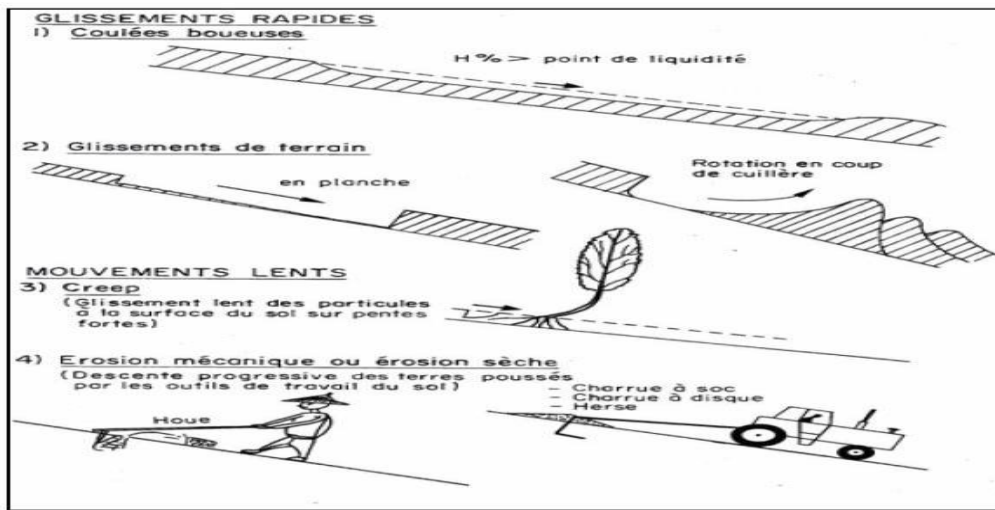


Figure I.7 : Différentes formes d'érosion en masse [18]

I.5. Quantification de l'érosion

L'importance de l'érosion hydrique et ces préjudices pour l'activité humaine d'un coté (pertes en sol), ont poussé l'homme à chercher et à proposer les méthodes pour y remédier à ce phénomène crucial. Pour ce faire, il a été procédé à la quantification de cette érosion par des méthodes empiriques.

Plusieurs formules et méthodes qui impliquent tous les paramètres physiques sont utilisées pour la quantification de l'érosion hydrique.

a) Formule de Henin "1950"

Cette formule symbolise la relation existante entre l'érosion et les facteurs susceptibles de la favoriser ou de la limiter. La quantification de l'érosion spécifique "Es" est donnée par la formule I.1[15]

$$Es = \frac{I_p I_s}{KV_e} \quad (I.1)$$

Avec : I_p : Intensité des précipitations;

I : Pente du bassin versant;

Les facteurs " I_p " et " I " favorisent l'érosion

Et S : Susceptibilité des sols;

K : Perméabilité;

Ve : Végétation.

Les facteurs S, K et Ve limitent l'érosion et en plus, les facteurs S et Ve semblent les plus difficiles à quantifier.

b) Formule universelle de Wischemeir "1959"

Vingt ans après la mise en place des essais d'érosion en parcelles dans une bonne dizaine d'Etats d'Amérique du Nord, il existait une accumulation d'un grand nombre de données sur l'érosion dont il convenait de faire la synthèse. En 1958, Wischmeier, statisticien du Service de Conservation des Sols fut chargé de l'analyse et de la synthèse de plus de 10.000 mesures annuelles de l'érosion sur parcelles et sur petits bassins versants dans 46 stations de la Grande Plaine américaine. L'objectif de Wischmeier et Smith (1978 ;1960) était d'établir un modèle empirique de prévision de l'érosion à l'échelle du champ cultivé pour permettre aux techniciens de la lutte antiérosive de choisir le type d'aménagement nécessaire pour garder l'érosion en-dessous d'une valeur limite tolérable étant donné le climat, la pente et les facteurs de production.

- Analyse des principes du modèle

Selon ce modèle, l'érosion est une fonction multiplicative de **l'érosivité des pluies** (le facteur **R**, qui est égal à l'énergie potentielle) que multiplie **la résistance du milieu K** (l'érodibilité du sol), **SL** (le facteur topographique), **C** (le couvert végétal et les pratiques culturales) et **P** (les pratiques antiérosives). C'est une fonction multiplicative, de telle sorte que si un facteur tend vers zéro, l'érosion tend vers 0.

Ce modèle de prévision de l'érosion est le suivant:

$$E = R \times K \times LS \times C \times P \quad (\text{I.2})$$

1° l'indice d'érosivité des pluies R

Il est égal à E, l'énergie cinétique des pluies, que multiplie I_{30} (l'intensité maximale des pluies durant 30 minutes exprimée en cm par heure). Cet indice correspond aux risques érosifs potentiels dans une région donnée où se manifeste l'érosion en nappe sur une parcelle nue de 9 % de pente.

$$R = \sum EI_{30} / 100 \quad (\text{I.3})$$

$$E = 200 + 89 \log I \quad (\text{I.4})$$

E = énergie cinétique de la pluie exprimée en tonne métrique x mètre/ha/cm de pluie.

$$E = 11,9 + 8,73 \log(I) \quad (\text{I.5})$$

E en J/m²/mm de pluie

I l'intensité moyenne de la pluie (mm/h).

R peut-être déterminé pour des périodes variables (1 averse à 1 année).

Lorsqu'il est utilisé comme paramètre du modèle de Wischmeier ,l'indice R est généralement calculé comme la moyenne de plusieurs années .

2° Erodibilité du sol, K

Fonction de la quantité de matières organiques, de la texture, de la structure, et de la perméabilité du sol, l'érodibilité du sol est déterminée pour une parcelle de 22.2 m de long, travaillée dans le sens de la pente (9 %), sans apport de matières organiques depuis trois ans.(Roose, 1994)

La formule de Wischmeier et Smith (1978) permet de déterminer K.

$$100 \cdot K = 2.1 \times 10^{-4} \times M^{1.14} (12 - a) + 3.25(b - 2) + 2.5(c - 3) \quad (\text{I.6})$$

M : produit du pourcentage de limon compris entre 0.1 et 0.002 mm par le pourcentage de tout ce qui n'est pas de l'argile.

a : pourcentage de matière organique

b : code de structure du sol utilisé dans la classification

c : classe de perméabilité du profil

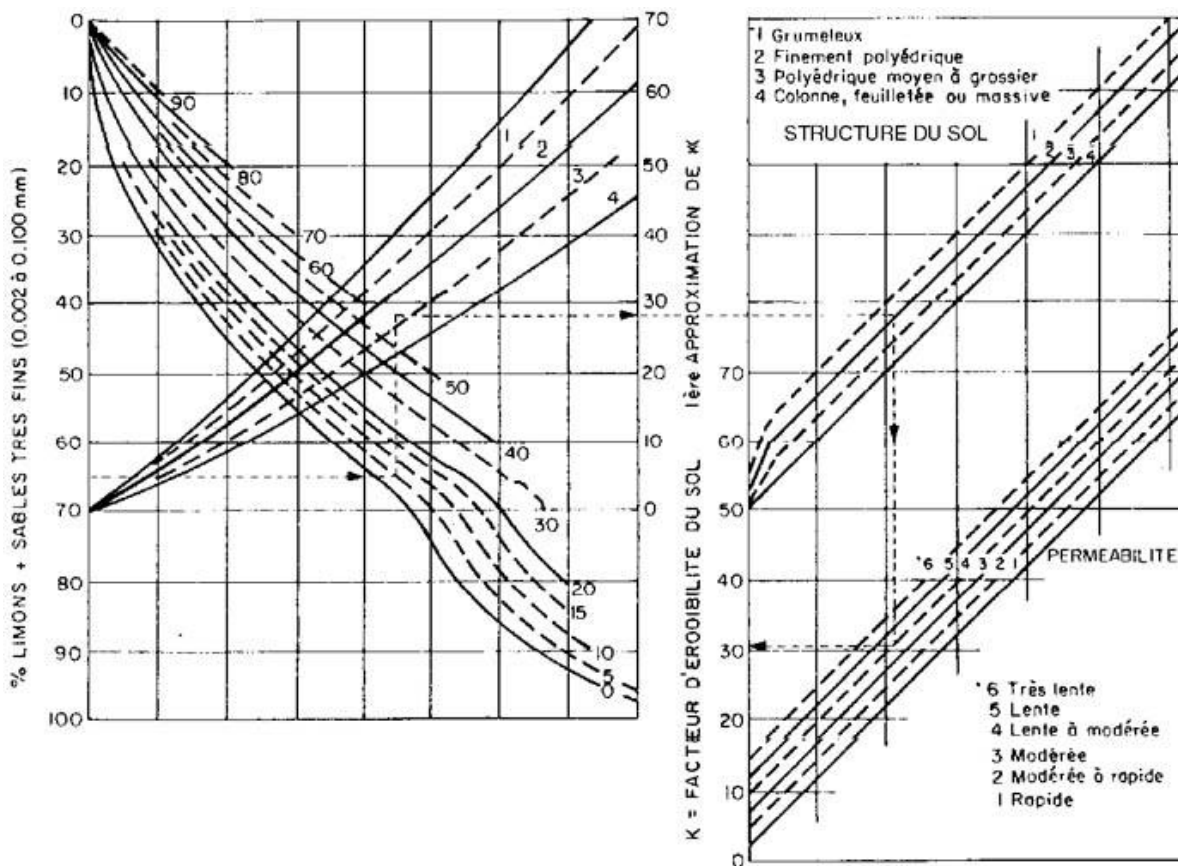


Figure I.8 Abaque d'Erodabilité de sol K

Limon et sable fin=65%; sable=5%; matière organique=2.8%; structure du sol=2 ; perméabilité=4 $K = 31\%$

3° Facteur topographique

L'influence de la pente sur l'évolution des versants est bien connue des géomorphologues ,au point que certains d'entre eux ,caractérisent l'âge du paysage par l'inclinaison et la forme des pentes .De fortes pentes et des vallées encaissées se rencontrent dans un relief jeune comme celui des Alpes ,tandis que dans un relief adulte ou sénile comme on en trouve sur le vieux continent africain ,ce sont des plateaux ,des glacis à pentes douces et de vastes pénéplaines qui offrent des paysages dégradés.

La pente intervient dans les phénomènes d'érosion du fait de sa forme, de son inclinaison et de sa longueur.

-La forme du versant

D'après Wischmeier (1974), une pente concave diminue les transports solides (par sédimentation localisée) tandis qu'une pente convexe l'augmente en fonction de l'inclinaison du segment le plus pentu. La présence de pentes concaves dans le paysage indique qu'il doit y avoir des piègeages, des colluvions et d'alluvions dans la vallée.

L'inclinaison de la pente

Lorsque la pente augmente, c'est l'énergie cinétique du ruissellement qui augmente et l'emporte sur l'énergie cinétique des pluies lorsque les pentes sont supérieures à 15 %. De plus, ce sont les particules fines qui sont les plus sensibles et qui seront arrachées les premières avec la matière organique.

Les formes d'érosion changent selon l'inclinaison de la pente. Ainsi, pour des pentes inférieures à 4%, ce sont les particules fines qui migrent. Pour des pentes supérieures à 7 %, des rigoles apparaissent. Des particules plus importantes sont transportées à l'intérieur de griffes. Enfin, au delà de 20 %, les rigoles se creusent et deviennent de plus en plus profondes (5 à 20 cm), ce qui se traduit par une surface très accidentée. [21]

Aux Etats-Unis, **Wischmeier et Smith(1960)** ont montré que l'on pouvait exprimer l'érosion de parcelles soumises à des pluies naturelles pendant 17 ans, et dont la pente est comprise entre 3 et 18 %, sous la forme d'une équation du second degré :

$$E = \frac{\sqrt{L}}{100} (0.76 + 0.53S + 0.076S^2) \quad \text{(I.7)}$$

E : Erosion en T/ha

S : Pente exprimée en pourcentage

L : longueur exprimée en pieds.

-Longueur de la pente

La vitesse étant proportionnelle à la distance parcourue, plus la longueur de la parcelle est grande, plus la vitesse augmente. Les particules d'eau qui ruissellent emmagasinent donc une

énergie plus importante qui se traduit par la création et le creusement de rigoles. Cependant, il est très difficile de connaître précisément l'exposant qui relie l'érosion et la longueur de la pente.

Cependant, le facteur topographique de Wischmeier & Smith donné sur le graphe ci-dessous permet de donner des résultats satisfaisant :

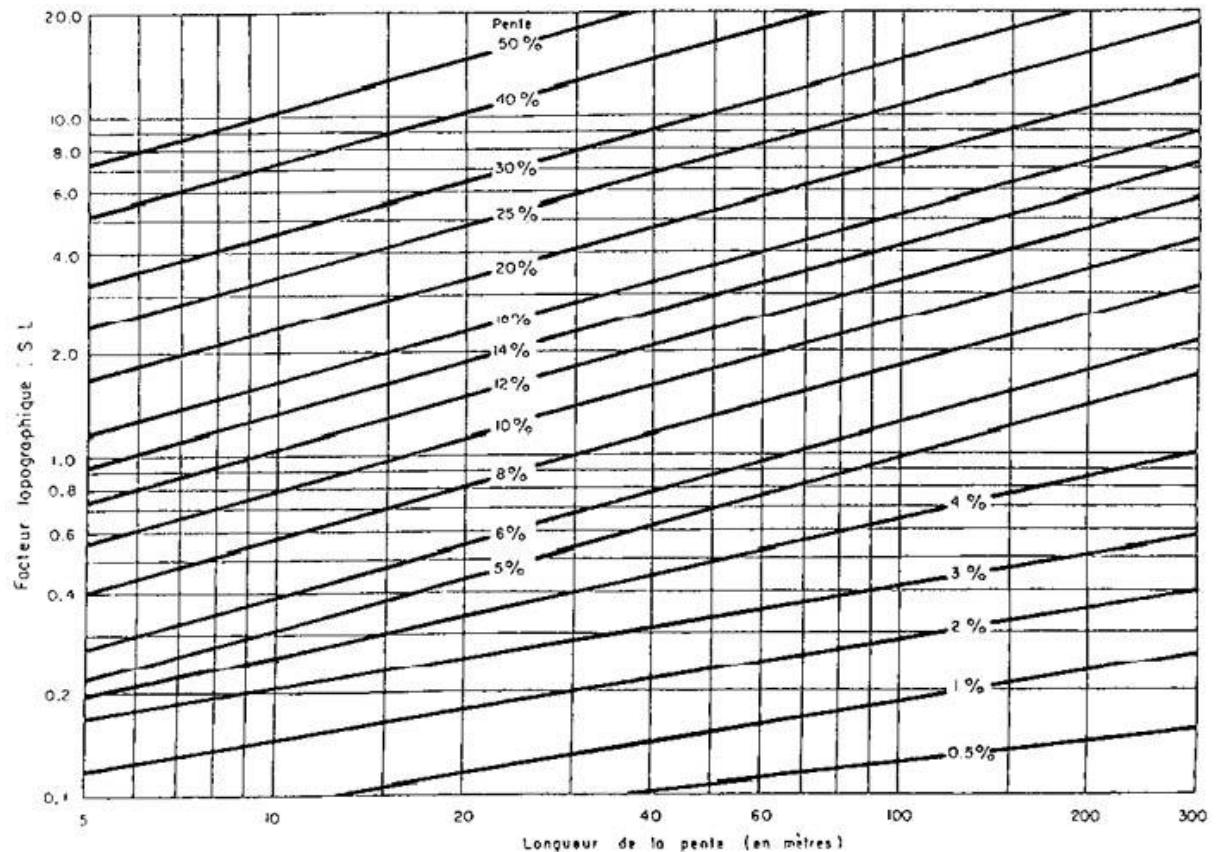


Figure I.9. Facteur topographique en fonction de la longueur de la pente et de son inclinaison

4° Couvert végétal

Le type de couvert végétal est absolument à prendre en compte puisque c'est de lui que va dépendre l'amortissement des gouttes de pluies, le ralentissement du ruissellement, et l'infiltration. Le facteur C tenant compte de la couverture dépend de:

- Le pourcentage de sol à nu : l'érosion intervient majoritairement sur des sols à nus lors d'épisodes pluvieux agressifs.

- La hauteur du couvert végétal : si celui-ci est trop élevé, l'amortissement des gouttes de pluies n'interviendra plus. En effet, après une première interception, les gouttes seront de nouveau rejetées vers le sol.

- l'architecture des plantes : des plantes en forme d'entonnoir (ananas) auront tendance à drainer l'écoulement et à provoquer des ravinements. A l'inverse, les plantes dites "parapluie" vont disperser les gouttes d'eau et donc diminuer leur énergie. (babanier).

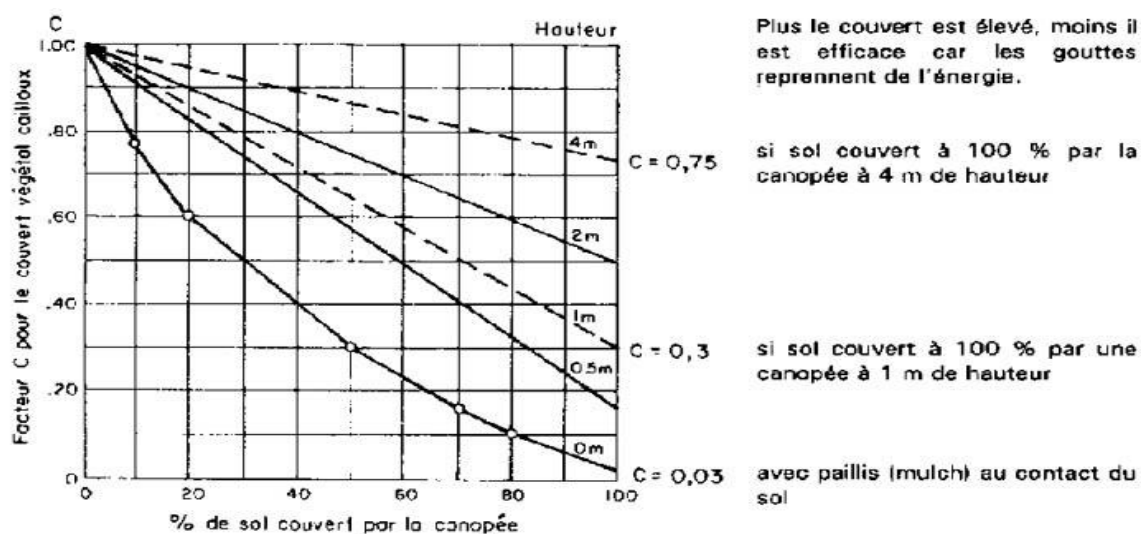


Figure I.10. Couvert végétal [21]

Par exemple, lorsque le couvert végétal est de 100 % mais qu'il se trouve à 4 m de hauteur, l'érosion sera de l'ordre de 75 % d'une parcelle nue. Si le couvert est à deux mètres, l'érosion sera de l'ordre de 50 %. S'il est à 50 cm, l'érosion sera encore de l'ordre de 18 %. Par contre, au cas où l'on a une litière, l'érosion sera réduite à 3 %. Si on regarde la baisse de l'érosion en fonction du pourcentage du sol couvert par le mulch, on observe une baisse très rapide de l'érosion pour une surface couverte relativement réduite. Par exemple, pour 10 % de sol couvert, l'érosion n'est plus que de 78 %, pour 20 %, l'érosion n'est plus que de 60 %, pour 50 % de sol couvert, l'érosion est réduite à 30 % de celle mesurée sur la parcelle nue témoin.

c). Formule de Gravičovic (1960)

Il a défini l'érosion spécifique, comme étant proportionnelle à la température, à la pluie et à un coefficient d'érosion, l'équation est donnée par l'expression I.8:

$$E_s = 3,14.T.P_0 \sqrt{Z^3} \quad (\text{I.8}) \quad [18]$$

Où

E_s : érosion spécifique dans le bassin versant ($T/km^2.an$)

T : coefficient de température

$$T = \sqrt{\frac{t_0}{10}} + 0.1 \quad (\text{I.9}) \quad [18]$$

Avec :

t_0 : température moyenne annuelle en $^{\circ}C$.

P_0 : pluie annuelle en (mm).

Z : coefficient d'érosion.

Avec

$$Z = y.[x.a](\delta + \sqrt{I_{moy}}) \quad (\text{I.10}) \quad [18]$$

Où

y : valeur du coefficient de la résistance du sol dû à l'érosion. Il dépend de la roche mère, le type du sol et du climat.

$[x.a]$: Coefficient de régularisation du bassin versant, se rapportant à la protection des sols, des influences des phénomènes atmosphériques des forces érosives liées aux conditions naturelles. Il est aussi tabulé.

δ : équivalent numérique des processus visibles et nettement prononcés dans le bassin versant.

I_{moy} : indice de pente moyenne du bassin versant.

d) Formule de L'A.N.R.H (1970)

$$T_{ss} = 26.62 I_e + 5.071 I_p + 9.77 C_t - 593.59 \quad (\text{I.11}) \quad [18]$$

T_{ss} : transport solide spécifique moyen annuel ($T/Km^2.an$)

I_e : indice lithologique (%).

I_p : indice des précipitations (%).

C_t : coefficient de torrentialité. $C_t = D_d \cdot F_1$

D_d : Densité de drainage $D_d = \frac{\sum_{i=1}^N L_i}{A}$

L_i : longueur de tous les cours d'eau d'ordre « 1 » (K m).

F_1 = nombre de talweg/ surface fréquence des talwegs élémentaire

Cette formule est applicable dans les conditions suivantes :

$$I_e > 10\%$$

$$I_p > 300$$

e) Formule de Tixeront (1960)

$$E_s = [S_1 \cdot Ta_1 + S_2 \cdot Ta_2 + S_3 \cdot Ta_3 + \dots + S_n \cdot Ta_n] \quad (\text{I.12})$$

Avec :

E_s : Erosion spécifique (t/Km².an).

Ta_1, Ta_2, Ta_n : Taux d'abrasion en fonction de la perméabilité du sol dans les sous Bassin (T/Km²).

S : superficie totale du bassin (Km²).

S_1, S_2, S_n : Superficie des sous bassins (Km²).

Maintenant, si on suppose que la totalité du bassin possède une même perméabilité,

$$\text{On a } E_s = K \cdot L_e \quad (\text{I.13})$$

L_e : Lamé d'eau ruisselée moyenne interannuelle (mm).

K : constante

K : coefficient qui tient compte de la perméabilité des terrains.

$K = 8,5$ pour les terrains d'une perméabilité élevée.

$K = 75$ pour les terrains d'une perméabilité moyenne élevée.

$K = 350$ pour les terrains d'une perméabilité faible à moyenne.

$K = 1400$ pour les terrains d'une perméabilité faible.

$K = 3200$ pour les terrains perméables.

F). Formule de Fournier (1960)

$$Q_s = \frac{1}{36} \cdot \left[\frac{P}{P_a} \right]^{2.65} \cdot \left[\frac{H_{\text{moy}}}{S} \right]^{0.46} \quad (\text{I.14})$$

Q_s : l'apport solide moyen inter annuel (T/Km².an).

P : la pluviométrie du mois le plus arrosé (mm).

H_{moy} : l'altitude moyenne (mm).

P_a : la pluviométrie moyenne inter annuelle (mm).

S : la superficie du bassin versant (Km²).

I.6. Conclusion

Le phénomène d'érosion est une partie de l'évolution géologique du paysage sous l'effet de l'eau, du vent. L'érosion de la surface du globe s'est poursuivie à travers les âges. L'entraînement, le transport et le départ des matériaux sont des phénomènes naturels visibles en tout temps et tout lieu. Les agents de l'érosion considérés comme les plus efficaces sont la pluie, les écoulements et le vent. L'action des vagues, du gel et des glaciers est limitée à des régions d'étendue restreinte, mais elle est importante dans les zones côtières et dans les régions glaciaires. Le phénomène de l'érosion hydrique commence avec l'impact de la goutte de pluie initiale. Cela occasionne de nombreux dégâts environnementaux et aura de grosses répercussions sur nos activités.

Chapitre II :
Description du bassin
versant de l'oued sahel
(Soummam)

Chapitre II: Description du bassin versant de l'oued sahel (Soummam)

II.1. Notion du bassin versant

Le bassin versant est la surface réceptrice des eaux précipitées qui alimentent une nappe souterraine, un lac, une rivière ou un réseau complexe ; on le définit par sa morphométrie, ses caractères climatiques, sa géologie, sa végétation, ses sols [22].

Plus précisément, le bassin versant qui peut être considéré comme un " système " est une surface élémentaire hydrologiquement close, c'est-à-dire qu'aucun écoulement n'y pénètre de l'extérieur et que tous les excédents de précipitations s'évaporent ou s'écoulent par une seule section à l'exutoire.

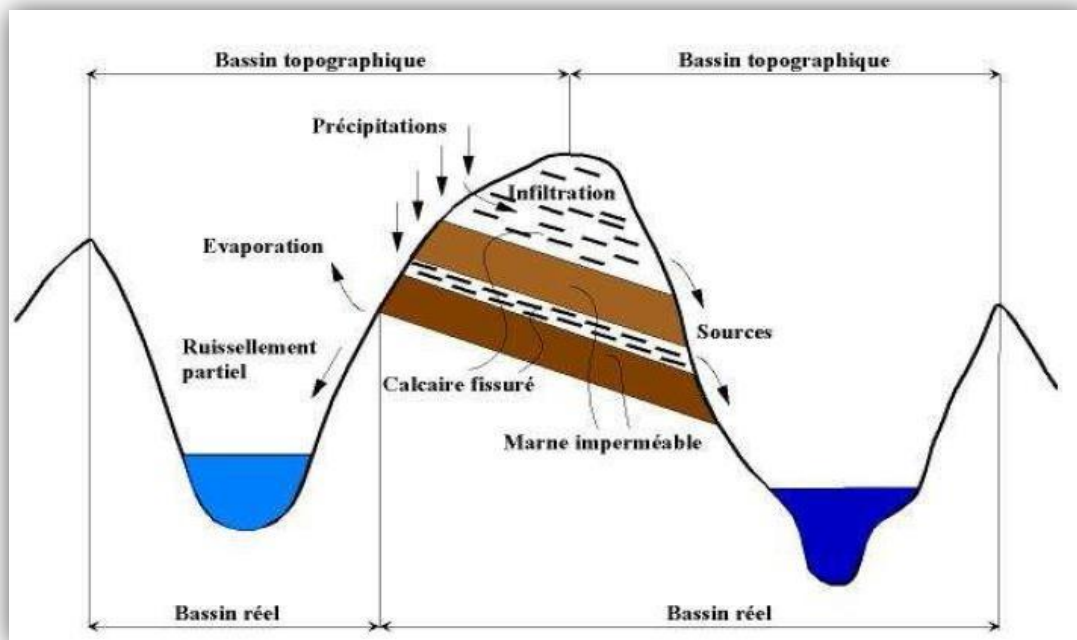


Figure II.1. Distinction entre bassin versant réel et bassin versant topographique [23]

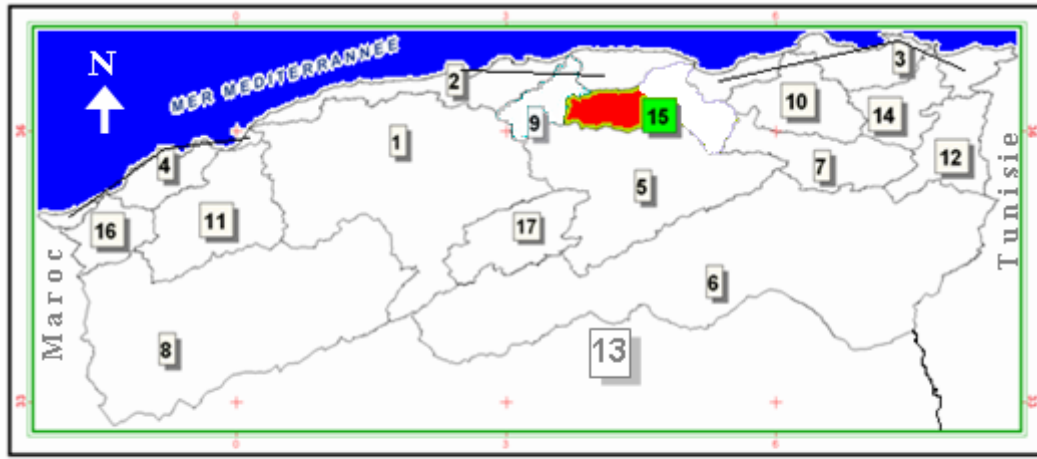
II.2. Situation géographique du bassin versant de l'oued sahel (Soummam)

Le bassin versant de l'oued sahel est situé dans la partie Nord-est du pays entre $3^{\circ} 60'$ et $4^{\circ} 70'$ de longitude Est et entre $36^{\circ} 00'$ et $36^{\circ} 50'$ de latitude Nord.

Le bassin versant de l'oued sahel s'étendant selon un axe Nord -ouest. Il se compose de région: les plateaux de Bouira. Il est limité:

- Au Nord : par les montagnes de la grande Kabylie (massif de Djurdjura).
- A l'Est : par les montagnes de la petite Kabylie.

- Au Sud : par les montagnes de Bibans et de Mansourah, au Sud-est par le contrefort des monts du Hodna.
- Et à l'Ouest : il est limité par les cours de l'Isser, et du Sébaou. Il présente une forme très irrégulière.



Source: extraite de la carte du réseau hydroclimatologique et de la surveillance de la qualité des eaux,

Dressée par l'ANRH (département des eaux superficielles), Edition 2005

Légende

Echelle: 1/4000000

— Limite bassin

■ Région d'étude: Sous bassin Edcus Sahel (soummam)

Figure II.2. Localisation du bassin versant de l'oued sahel (Soummam) [24]

Le bassin versant de l'oued sahel est subdivisé en 05 sous bassins versants (Fig. I.3) et il couvre une superficie de 3736.98 km².

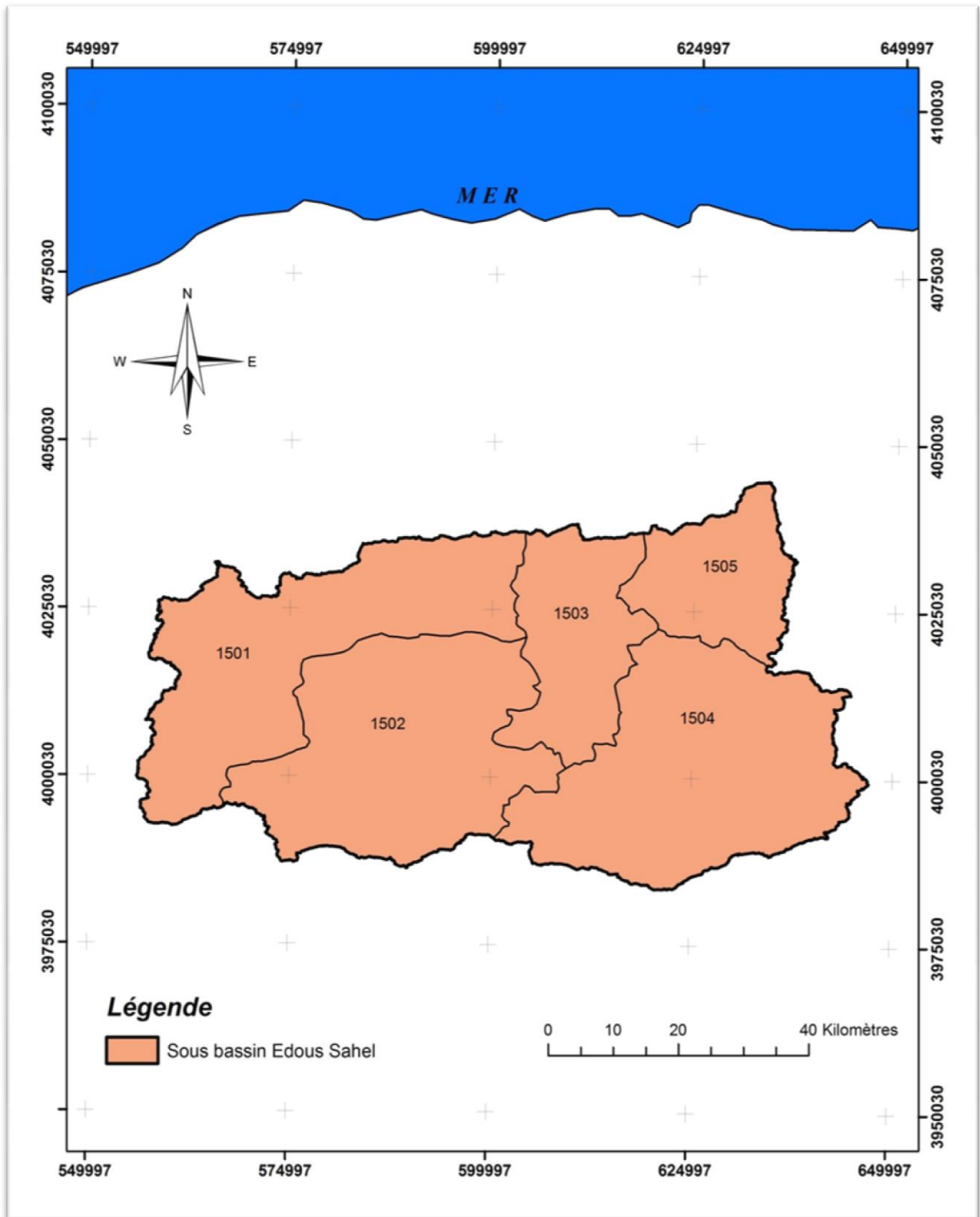


Figure II.3. Les sous bassins versants de l'oued sahel (Soummam) (extrait de la carte hydro-climatologique de surveillance de la qualité de l'eau dressée par l'ANRH, 2005)

Tableau II.1. Superficie des sous bassins versants de l'oued sahel (Soummam)
(A.N.R.H., 1979, 1980)

Sous bassin versant	Code	Superficie (km ²)
Oued Eddous	1501	903.000
Oued Zaiane	1502	1012.00
Oued Sahel amont	1503	430.000
Oued Azerou	1504	1084.00
Oued Sahel Aval	1505	326.000

II.3. Les conditions climatiques de la région [24]

Les caractéristiques climatiques dans le bassin versant de l'oued sahel (Soummam) ne sont pas uniformes. Il est sous la dépendance de trois types de climat : climat littoral tempéré sur les cours inférieur de l'Oued Soummam, climat de l'Atlas Tellien sur la moyenne Soummam et sur une partie du 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 de la 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. La géologie

On distingue au niveau du bassin versant de l'oued sahel (Soummam) différentes formations géologiques (Fig. II.4).

- 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 grésopélimitique, 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.4. Les sols

La majorité des sols dans le bassin de l'oued sahel (Soummam) sont des sols calcaires (riches en calcaire). Leur complexe absorbant est modifié par l'eau. 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 (Fig. II.5). Le long des Oueds, les sols sont des dépôts alluviaux appelés sols alluviaux à profil indifférencié ou présentent une simple accumulation de matières organique en surface. En plus on rencontre aussi des sols calciques

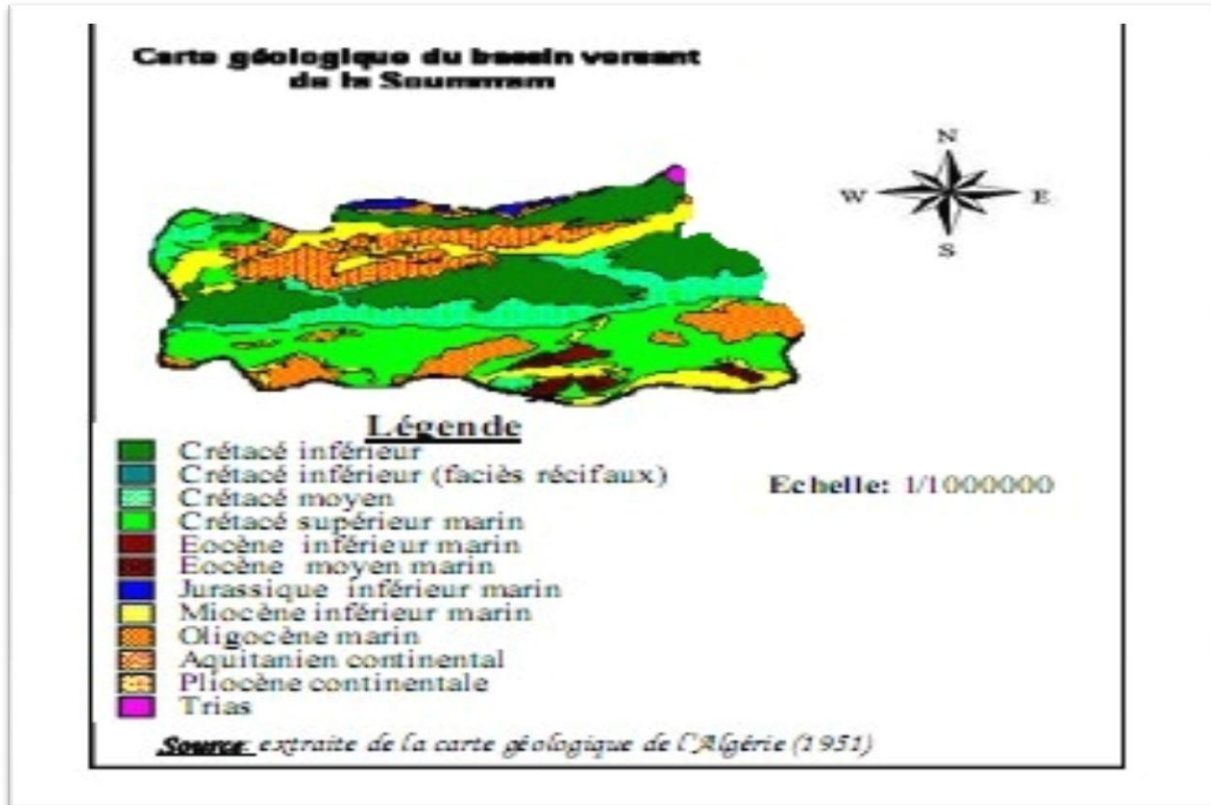


Figure II.4. Carte géologique du bassin versant de l'oued sahel (Soummam)

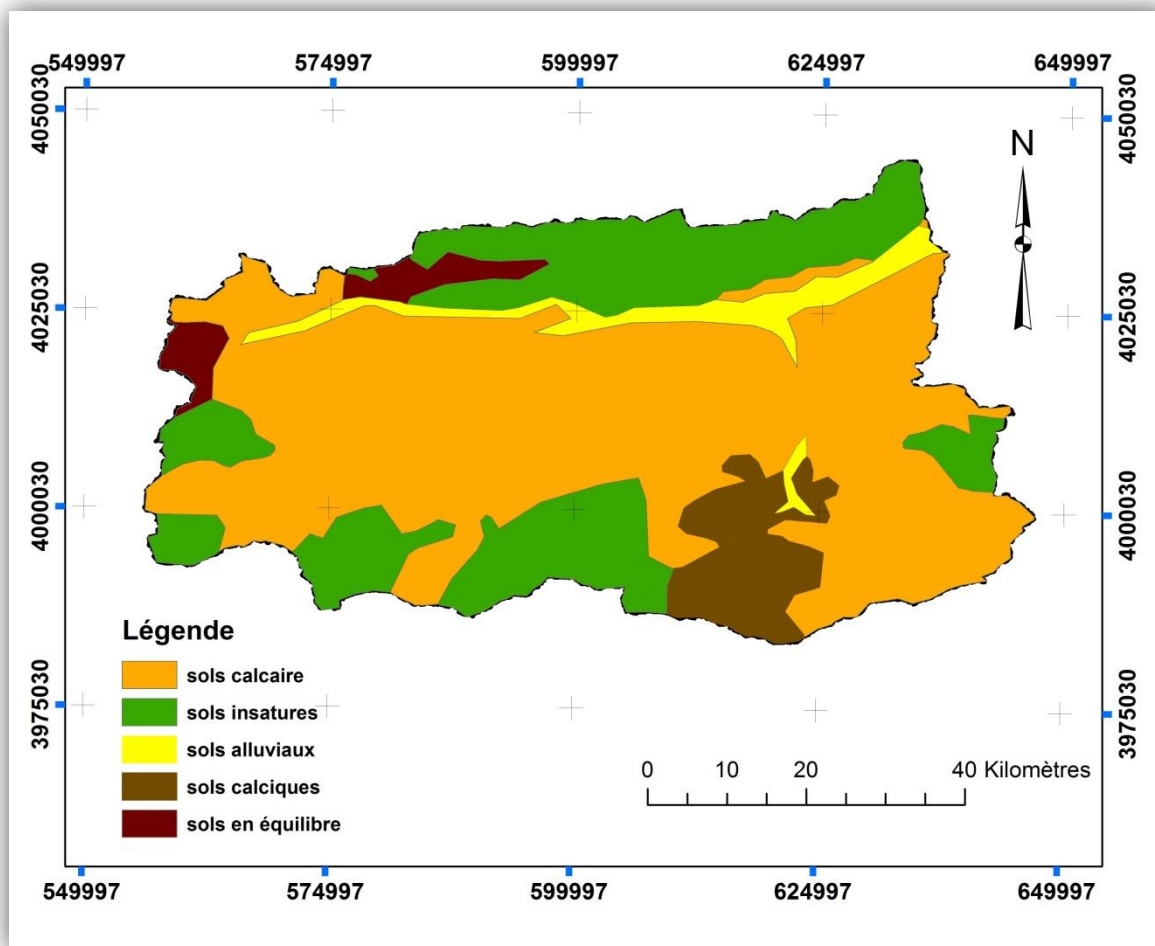


Figure II.5. Carte des sols du bassin versant de l'oued sahel (Soummam)

II.5. Caractéristiques physiques [25]

Le milieu physique dans lequel évolue le cycle hydrologique varie d'un bassin à l'autre en fonction d'un certain nombre de paramètres physiques, morphologiques et géométriques qui interviennent, et souvent de façon combinée, dans les modalités de l'écoulement fluvial. L'analyse de ces paramètres permet une meilleure compréhension des causes de variation des régimes hydrauliques d'un bassin. Le bassin de l'oued sahel se compose de cinq sous bassins dont les limites correspondent à celles des unités hydrologiques contrôlées par des stations hydrométriques, c'est pourquoi l'étude des caractéristiques physique se fait pour chaque partie contrôlée par les stations de jaugeage.

II.5.1. Paramètres morphométriques

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 :

- **L'indice de compacité de Gravelius (KG)**

Il est établi en comparant le périmètre stylisé du bassin considéré à celui d'un cercle ayant la même surface.

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

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

Avec :

P : périmètre du bassin en (Km) .

A : superficie du bassin en (Km²).

L'indice de forme **KG** est égal à l'unité pour un bassin circulaire, et croît d'autant plus que la compacité diminue.

- **Rectangle équivalent**

La notion de rectangle équivalent permet de ramener la forme quelconque d'un bassin versant à une forme rectangulaire ayant la même superficie, le même périmètre et le même indice de compacité.

Elle est introduite pour pouvoir comparer des bassins entre eux du point de vue de l'influence de leurs caractéristiques géométriques sur l'écoulement.

$$P = 2(L+I) = \frac{1}{0.28} KG\sqrt{A}$$

Avec:

L : longueur du rectangle équivalent (Km).

I : largeur du rectangle équivalent (Km).

P : périmètre du bassin versant (Km).

A : surface du bassin versant (Km²).

K_G : indice de compacité du bassin.

II.5.2.Paramètres du relief

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.

a. 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:

- **L'altitude moyenne**

Les altitudes moyennes des sous bassin contrôlés par des stations hydrométriques ont été calculées par les services de l'A.N.R.H à partir de leurs courbes hypsométriques respectives.

$$\bar{H} = A / L$$

H: Hauteur moyenne à partir du plan de base adoptée.

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.

- **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.

- **Les altitudes maximale et minimale**

Elles sont obtenues directement à partir de cartes topographiques. L'altitude maximale représente le point le plus élevé du bassin tandis que l'altitude minimale considère le point le plus bas, généralement à l'exutoire. Ces deux données deviennent surtout importantes lors du développement de certaines relations faisant intervenir des variables climatologiques telles que les températures, les précipitations...etc. Elles déterminent l'amplitude altimétrique du bassin versant et interviennent aussi dans le calcul de la pente.

b. La courbe hypsométrique

Le relief est caractérisé par la courbe hypsométrique qui donne la répartition des altitudes des sous bassins en fonction des surfaces correspondantes. Elle est obtenue en portant sur l'axe des abscisses les surfaces cumulées des surfaces partielles comprises entre deux courbes de niveau successives (l_i, l_{i+1}) et les altitudes correspondantes sur l'axe des coordonnées.

La courbe hypsométrique reste un outil pratique pour comparer plusieurs bassin entre eux ou les diverses sections d'un seul bassin. Elle peut en outre servir à la détermination de la pluie moyenne sur un bassin versant et donnent des indications quant au comportement hydrologique du bassin et de son système de drainage. La courbe hypsométrique est obtenue pas le cumul de l'histogramme des altitudes et elle permet de calculer l'altitude moyenne, l'altitude la plus fréquente et l'indice de pente globale du bassin (Fig. II.6).

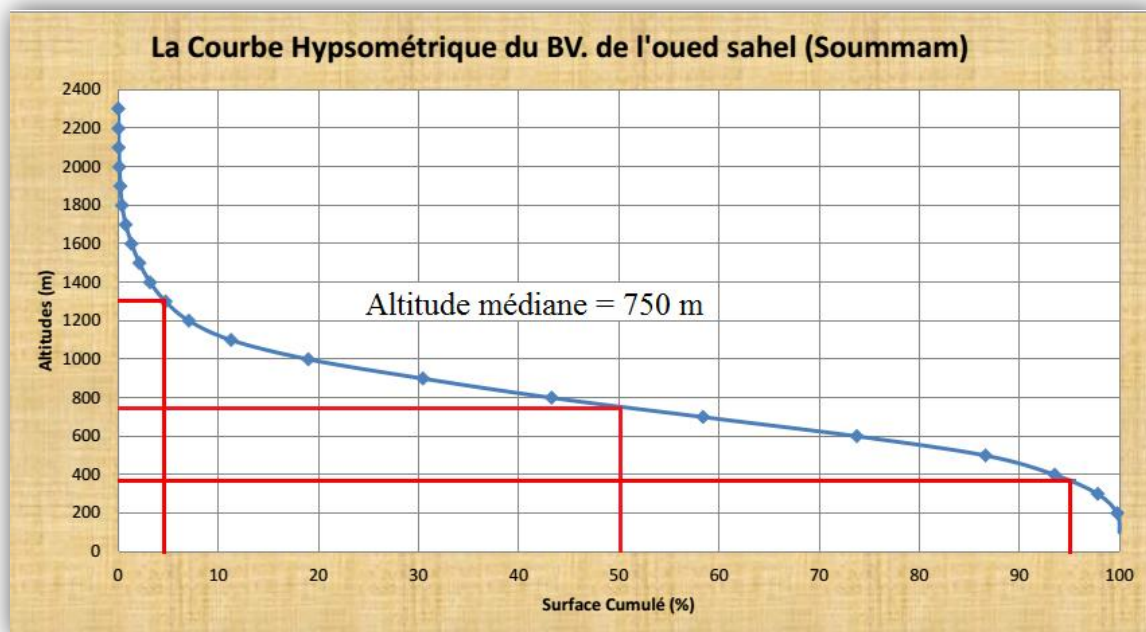


Figure II.6. Courbe hypsométrique du bassin versant de l'oued sahel (Soummam)

II.5.3.Indices de pente et relief

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 :

I_g : indice globale de Roche

D : dénivelée (m).

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

H_5 et H_{95} sont les altitudes entre lesquelles s'inscrivent 90% de la surface du bassin. La dénivelée

D est donc égale à $(H_5 - H_{95})$.

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

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

$$I_p = \frac{1}{\sqrt{L}} \sum_{i=1}^n \sqrt{\beta_i (a_i + a_{i-1})}$$

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

L : longueur du rectangle équivalent.

Tableau II.2. Classification du relief selon I_g par ORSTOM

Relief très faible	$I_g < 0.002$
Relief faible	$0.002 < I_g < 0.005$
Relief assez faible	$0.005 < I_g < 0.01$
Relief modéré	$0.01 < I_g < 0.02$
Relief assez fort	$0,02 < I_g < 0.05$
Relief fort	$0.05 < I_g < 0.5$
Relief très fort	$0.5 < I_g$

I_g est corrigé de l'effet de surface par utilisation de la dénivelée spécifique (D_s):

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

Avec :

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

A : aire du bassin (km²).

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

Tableau II.3. Classification du relief selon la densité spécifique D_s

$D_s < 10$ m	Relief très faible
$10 \text{ m} < D_s < 25$ m	Relief faible
$25 \text{ m} < D_s < 50$ m	Relief assez faible
$50 \text{ m} < D_s < 100$ m	Relief modéré
$100 \text{ m} < D_s < 250$ m	Relief assez fort
$250 \text{ m} < D_s < 500$ m	Relief fort
$D_s > 500$ m	Relief très fort

Les valeurs de D_s (Tableau I.4), traduisent bien l'importance du volume montagneux et la forte incision du relief. Le tableau suivant nous résume toutes les caractéristiques de notre bassin versant.

Tableau II.4. Caractéristiques du bassin versant de l'oued sahel [24]

Caractéristiques	Valeurs
Aire (A)	3736 Km ²
Périmètre (P)	360 Km
Indice de compacité (Gravelius, 1914) (K_G)	0.02
Altitude maximale	2308 m
Altitude minimale	173 m
Altitude moyenne	783 m
Altitude médiane	800 m
Indice de pente globale (I_g)	0.16 %
Largeur du rectangle équivalent	61 Km
Longueur de rectangle équivalent	91 Km

II.5.4. 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.7)

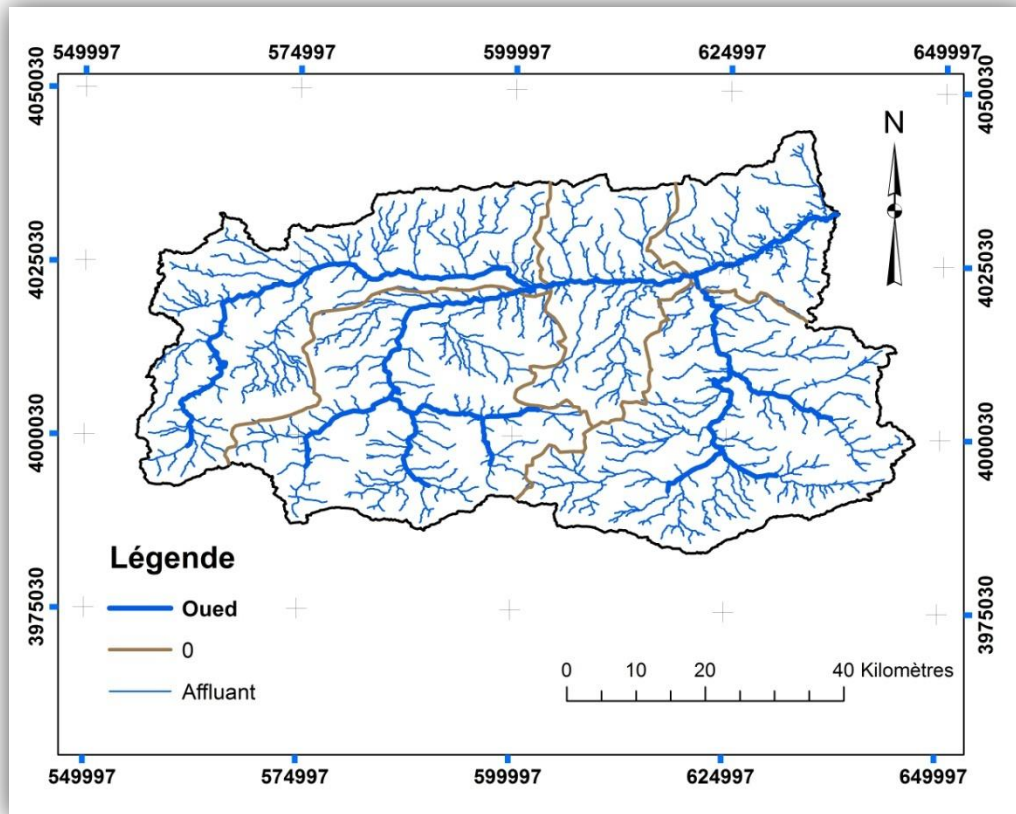


Figure II.7. Carte du réseau hydrographique du bassin de l'oued sahel (Soummam)

II.5.5. Degré de développement du réseau hydrographique

Le degré de développement du réseau hydrographique est mesuré par les paramètres suivants :

- **La densité de drainage**

La densité de drainage est définie comme le rapport entre la longueur des canaux d'écoulement et la superficie de bassin.

$$D_d = \frac{\sum L_i}{A}$$

Avec :

D_d : densité de drainage (km/km²) ;

$\sum L_i$: somme des longueurs des cours d'eau (km) ;

A : surface du bassin versant (km²).

La densité de drainage dépend de la géologie des caractéristiques topographiques du bassin versant et, dans certaine mesure, des conditions climatologiques et anthropiques.

- **La densité hydrographique**

La densité hydrographique appelée aussi la fréquence de drainage est définie comme le nombre de drains du bassin par unité de surface.

$$F = \frac{\sum N_i}{A}$$

Avec :

F : densité hydrographique (1/Km²) ;

N_i : nombre de cours d'eau ;

A : superficie du bassin versant (Km²).

- **Le coefficient de torrentialité (C_t)**

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

$$C_t = \frac{N_1}{A} * D_d$$

Avec :

C_t : coefficient de torrentialité .

N₁ : nombre de talwegs d'ordre 1.

A : superficie du bassin (km²).

D_d : densité de drainage (km/km²).

Le tableau I.6 nous donne les valeurs de différentes caractéristiques du réseau hydrographique du bassin de la Soummam.

- **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.

$$t_c = \frac{4\sqrt{S} + 1,5L}{0,8\sqrt{H_{moy} - H_{min}}}$$

Avec :

L : longueur du talweg principal.

Tableau II.5. Caractéristiques géométriques et hydromorphométriques du bassin

Paramètres	Symbole	Unité	Valeur
Superficie	A	Km ²	3736
Périmètre	P	Km	360
Indice de compacité	K _c	/	0.2
Longueur du rectangle équivalent	L _R	m	93000
Largeur du rectangle équivalent	l _R	m	40173
Indice de pente de Roche	I _p	%	0.20
Indice de pente global	I _g	%	0.16
Dénivelée spécifique	D _s	m	920
Type de relief	/	/	Relief fort
Altitude moyenne	H _{moy}	m	783
Altitude maximale	H _{max}	m	2308
Altitude minimale	H _{min}	m	173
Altitude à 5%	H _{5%}	m	1300
Altitude à 95%	H _{95%}	m	380
Longueur des thalwegs retenus	L _{pt}	Km	25
Longueurs des thalwegs temporaires	L _t	Km	20
Densité de drainage totale	D _d	Km/Km ²	0.7
Pente moyenne de l'oued Sahel	I _{c moy}	%	0.2
Coefficient de torrentialité	C _t	/	0.108
Temps de concentration	T _c	Heures	20
Vitesse de propagation de crue	Ve	Km/h	36
Classification de Horton	Ordre	/	5

II.7. Conclusion

Après avoir étudié les différentes caractéristiques du bassin du sahel nous avons pu tirer les synthèses suivantes :

- Le climat dans le bassin n'est pas uniforme, car nous avons pu distinguer trois types de climat : climat littoral tempéré, climat de l'Atlas Tellien et climat des hautes plaines.
- Le bassin possède un réseau hydrographique très développé (ordre 5). Trois Oueds et leurs affluents constituent son squelette hydrographique.
- L'altitude maximum est de 2308 m au pic de Lalla Khadidja. Ces reliefs élevés sur les

bordures du bassin provoquent un écoulement assez rapide des eaux et des temps de concentration assez courts. Les paramètres morphologiques déterminés sont intimement liés aux caractères lithologiques des roches du bassin qui sont en majorité semi-perméables à imperméable. La relative abondance de la végétation (oliviers dans la vallée) permet de diminuer le phénomène de l'érosion dans le secteur.

Chapitre III :

**Évaluation et cartographie des
risques d'érosion par l'équation
USLE**

Chapitre III: Évaluation et cartographie des risques d'érosion par l'équation USLE

III.1. Introduction

La modélisation USLE (Equation universelle de pertes en sols) mise en œuvre par Wischmeier et Smith en 1978 permet d'apporter une estimation des particules de sol susceptibles d'être arrachées et de spatialiser les zones les plus sensibles à l'érosion, sans prise en compte des dynamiques de transport/sédimentation des matières terrigènes. L'objectif était alors d'établir un modèle empirique de prévision de l'érosion à l'échelle de la parcelle, afin d'aménager celle-ci pour que l'érosion régresse en dessous d'une valeur limite tolérable étant donné le climat, la pente et les facteurs de production, l'équation universelle de perte en sols (USLE) constitue un des modèles les plus adaptés pour l'estimation annuelle de l'érosion hydrique potentielle des sols. En effet, il a été mis en pratique dans de nombreux pays du Nord et adapté en fonction du contexte climatique, pédologique, topographique à différents pays [26].

L'avantage des modèles quantitatifs et empiriques de ce type, basés sur l'expérience, réside dans le fait qu'ils prennent en compte l'ensemble des facteurs jouant un rôle prépondérant dans les processus d'érosion, à savoir l'érodibilité des sols, la topographie, l'occupation du sol, l'érosivité des pluies et les pratiques culturales antiérosives. Seuls les processus d'érosion en nappe sont pris en compte dans le modèle. Par ailleurs, l'usage de l'équation USLE est largement facilité par un déploiement aisé dans les Systèmes d'Informations Géographiques (SIG). Le développement des SIG est une diffusion plus grande de l'information géographique numérique expliquent le succès de cette approche. Malgré les critiques faites sur l'utilisation abusive du modèle USLE dans des conditions autres que celles où il a été mis en œuvre, en pratique, cette approche peut donner des résultats pertinents pour l'évaluation potentielle de l'érosion hydrique des sols.

Ce chapitre a pour but de décrire la mise en œuvre d'un modèle USLE et son application afin d'estimer les pertes en sols sur le bassin versant Oued sahel.

III.2. Méthodologie

L'Equation universelle de pertes en sols (Wischmeier & Smith 1978) s'applique à la quantification des pertes en sol par érosion en nappes. C'est une fonction multiplicative de cinq (05) facteurs qui contrôlent l'érosion hydrique : agressivité climatique, érodibilité des sols, inclinaison et longueur de pente, occupation des sols et pratiques antiérosives. Elle est donnée par :

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

A : taux annuel de pertes en sol (t/ha/an)

R : indice d'érosivité potentielle de la précipitation (MJ mm/ha/h/an)

K : indice d'érodibilité des sols à l'érosion hydrique ($t \text{ ha}^{-1} \text{ MJ}^{-1} \text{ mm}^{-1} \text{ ha h}$)

LS : facteur topographique dépendant de la pente (S en %) et sa longueur (L en m)

C : facteur de culture, incluant la régie des cultures et des sols et les pratiques culturales

P : facteur de conservation et d'aménagement (techniques culturales antiérosives).

L'organigramme suivant nous résume la méthodologie adoptée.

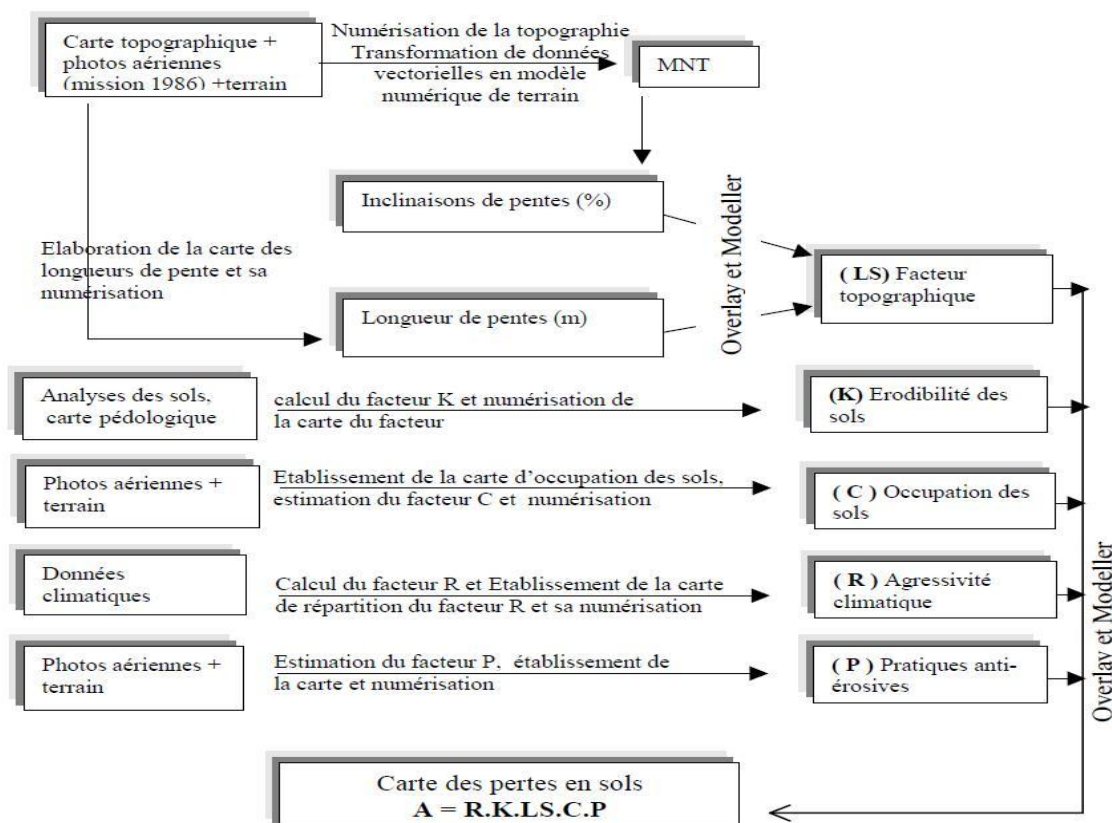


Figure III.1 : Organigramme méthodologique de l'intégration de l'USLE dans le SIG [27]

III.4. L'équation universelle des pertes de sol

III.4.1. Calcul du facteur d'agressivité des précipitations (R)

L'estimation du facteur **R** selon la formule de Wischmeier nécessite la connaissance des énergies cinétiques (**E_c**) et l'intensité moyenne sur 30 minutes (**I₃₀**) des gouttes de pluie de chaque averse. Elles sont données par la formule empirique de Wischmeier & Smith (1978) :

$$R = K \cdot E_c \cdot I_{30}$$

Les seules données disponibles concernant les précipitations dans les stations qui se trouvent dans le bassin ou à sa proximité sont des moyennes mensuelles et annuelles. Des auteurs comme Kalman (1967), Arnoldus (1987) et Rango & Arnoldus (1987) ont développé des formules alternatives qui n'impliquent que les précipitations mensuelle et annuelle pour déterminer le facteur **R**.

$$\text{Log } R = 1.74 \cdot \text{Log} (\sum (P_i^2/P)) + 1.29$$

P_i : Précipitations mensuelles.

P : Précipitations annuelles.

Le réseau pluviométrique, dont l'existence remonte à la période coloniale, s'est particulièrement étoffé à partir de 1968 avec l'installation d'un nombre important de postes pluviométriques par l'ANRH. A côté de ce réseau, existe, le réseau de l'ONM.

Le tableau suivant présente les précipitations moyennes mensuelles et annuelles (1920 - 2007) établies pour chaque station.

Tableau III.1 : Précipitations moyennes mensuelles (mm), annuelles (mm) et valeur de R moyen [ANRH, 4]

station	sept	oct	nov	dec	jan	fev	mar
sidi aissa	21,27	26,39	21,32	36,93	48,94	24,22	22,46
50901	28,73	32,74	36,98	47,41	44,4	37,13	43,81
90301	25,19	40,05	48,83	67,32	57,7	43,64	47,37
90401	27,67	55,98	70,97	92,48	81,3	64,82	63,85
sour el ghozlane	26,71	38,33	49,56	61,82	61,37	54,15	49,49
ain bessem	26,76	39,76	52,79	69,11	62,32	53,02	54,38
BOUIRA	26,02	43,6	55,77	80,76	69,55	56,92	53,61
150204	24,51	34,37	40,01	65,97	58,13	43,43	47,03
M'CHEDALLAH	25,08	34,64	41,8	63,86	67	51,03	50,84
150311	22,95	33,58	38,86	54,11	61,53	45,38	39,93
150403	24,81	34,25	38,5	47,42	40,62	41,56	38,69
150501	24,69	31,53	36,47	75,93	68,58	49,17	52,17
150503	26,61	34,3	42,86	70,49	66,83	55,2	52,41
150802	31,79	39,72	48,14	80,6	61,97	57,97	59,23
AKBOU	25,07	44,74	52,38	79,57	80,95	70,22	55,25
EL KSEUR	37,57	63,96	82,2	126,6	117,8	104,2	81,45
151007	32,85	69,44	87,4	149,1	142,5	116,8	98,94

avr	mai	jun	jul	aout	annuel	R
18,8	27,65	16,99	6,22	8,75	270,91	46,80
44,08	38,58	20,67	7,59	10,21	376,01	58,30
48,93	37,57	16,15	5,2	8,4	440,83	66,84
57,12	39,49	15,09	4,27	7,22	591,09	83,60
55,03	42,81	19,33	6,5	9,81	471,15	68,55
54,43	39,29	17,04	5,55	8,86	478,63	70,91
50,2	37,64	15,73	4,9	8,01	505,38	74,32
40,98	31,43	14,71	4,73	7,5	401,22	64,82
42,83	31,73	15,16	4,79	7,64	431,01	67,21
34,51	29,84	14,4	4,53	7,22	400,91	58,60
42,86	39,89	17,46	6,38	8,97	390,75	55,02
40,05	27,45	14,34	4,36	6,99	400,58	72,83
46,29	35,89	16,71	5,59	8,68	452,74	70,14
55,47	45,3	19,79	7,16	10,37	500,62	75,58
48,55	36,31	14,16	3,91	6,37	532,52	76,76
59,61	36,99	15,84	3,26	5,42	735,29	107,26
75,32	47,48	16,31	4,19	7,56	834,52	122,51

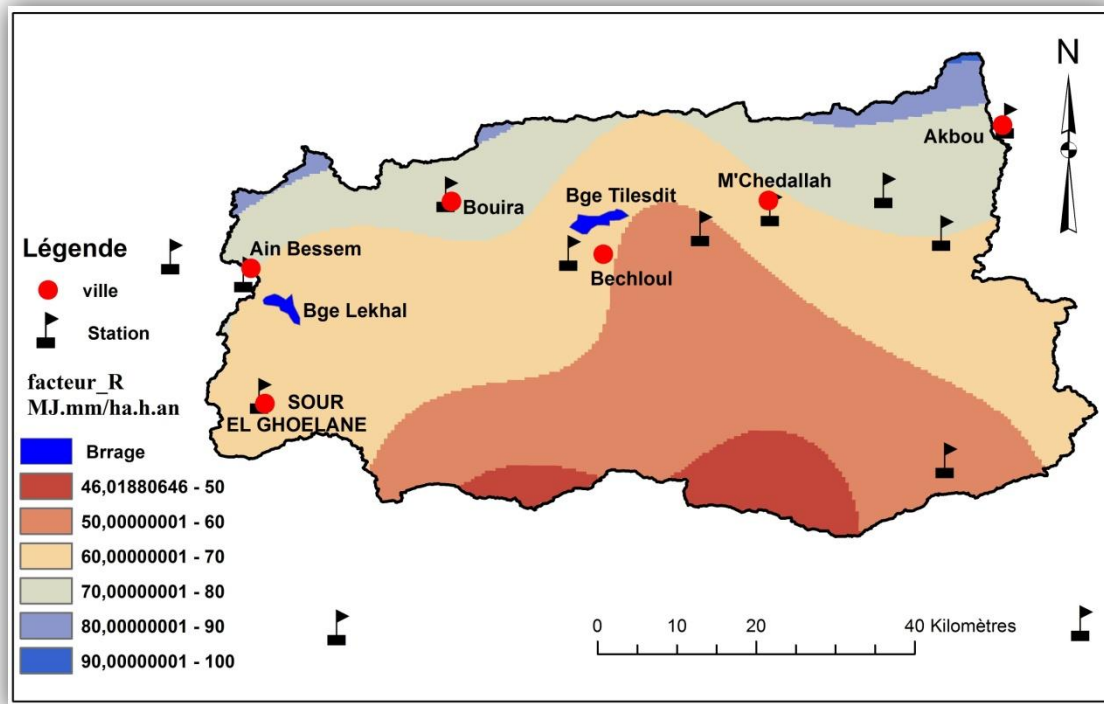


Figure. III.2 : Distribution des valeurs du facteur R
(Calculées d'après la formule de Rangoet Arnoldus, 1987)

Tableau III.2 : Classes des valeurs du facteur R Oued sahel

Classes	facteur R	Surfaces (Km ²)	Surface (%)
1	46 - 50	205,59	5,50271005
2	50 - 60	1185,86	31,7398232
3	60 - 70	1588,86	42,52622997
4	70 - 80	671,50	17,97278183
5	80 - 90	81,44	2,179867103
6	90 - 100	2,94	0,078707917
total		3736,18	100

La carte d'érosivité, synthétisée à partir de la spatialisation des stations hydrologiques, montre que la valeur du facteur **R** varie de 46 à 100 (Fig. III.2). Les valeurs élevées sont enregistrées au centre du bassin, alors que les valeurs les plus faibles sont enregistrées à l'aval et à l'amont. En effet, les valeurs de **R** subissent un double gradient du centre vers l'amont et du centre vers l'aval. La répartition géographique des différentes classes du facteur d'érosivité des pluies par rapport à la superficie totale du bassin est la suivante :

- 93 % de la superficie du bassin est soumise à une érosivité de 60 à 100.
- Seulement 7 % de la surface du bassin versant est soumise à une faible érosivité.
- 28,27 % du bassin versant étudié est soumise à une érosivité de 90 à 100 témoignant ainsi d'une érosivité modérée.

L'agressivité pluviale est très concentrée dans l'intervalle, 60 à 90 avec 86 %. Par contre, la classe de forte érosivité dépassant 90 ne représente que 1,2% du bassin versant. Selon ces résultats, le risque d'érosivité au niveau du bassin versant d'Oued sahel reste faible à modéré. Par conséquent, le facteur **R** pourrait entraîner l'apparition et le développement du phénomène de l'érosion linéaire.

III.4.2. Détermination du facteur d'érodibilité des sols (**K**)

Le facteur **K** exprime la vulnérabilité du sol à être érodé par la pluie. Ce facteur dépend des propriétés physiques et chimiques du sol (granulométrie, agrégation, stabilité structurale, porosité, teneur en matière organique, etc.). La texture est le principal facteur qui influence le facteur **K**, mais la structure, la teneur en matière organique et la perméabilité du sol ont aussi un rôle à jouer. Pour déterminer le facteur **K** dans le bassin versant de l'Oued Sahel on a analysé la surface des formations meubles pouvant être mobilisées par l'érosion (sols, alluvions,...) ; Et qui sont couvrant les différentes formations géologiques affleurant dans le bassin. Le facteur **K** a donc été calculé à l'aide du triangle de texture (Brown, 2003) et du

tableau de correspondance de Stone et Hilborn permettant ainsi de déduire à partir de la texture les valeurs d'érodibilité des sols. Dans un premier temps, une typologie des sols du bassin versant a donc été effectuée. Puis les pourcentages de sable, de limon, d'argile et de matière organique ont ensuite été renseignés à partir des échantillons de la carte pédologique. Disposant d'un seul échantillon pour chaque type de sol, les valeurs ont été attribuées et généralisées aux classes de même type, sans prise en compte de la variabilité spatiale et temporelle de **K** (type de végétation, pente). Ces valeurs ont permis par la suite de déterminer la texture des sols, au moyen du triangle des textures. Une fois les textures déterminées, il est possible d'établir la correspondance entre la texture standard et le facteur **K** (Stone et Hilborn, 2000).

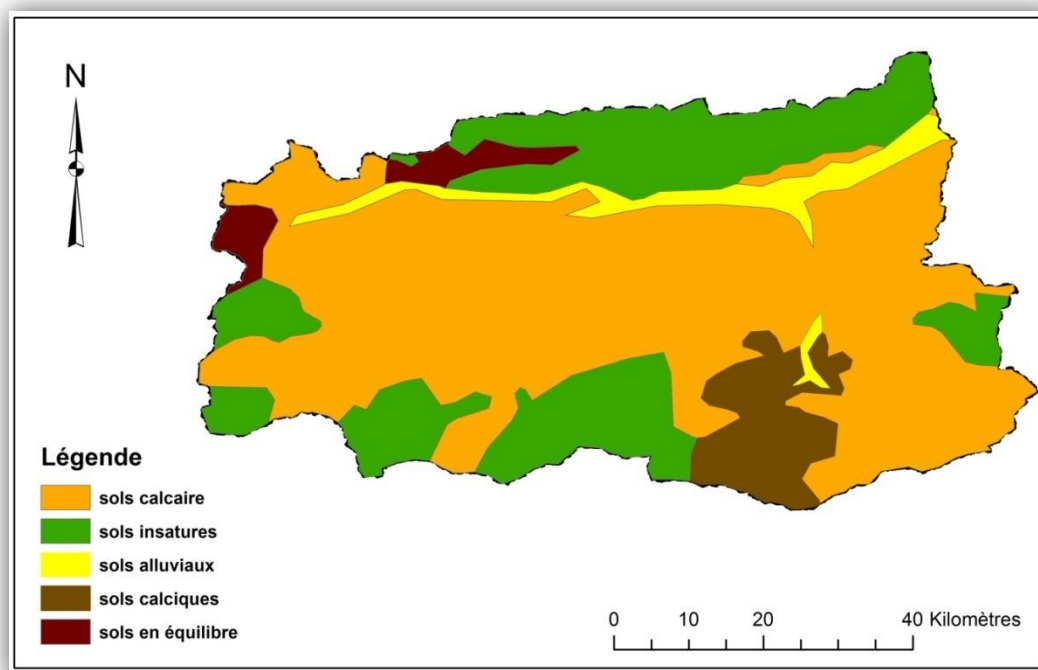


Figure.III.3 : Carte géologique du bassin versant de l'Oued sahel

On remarque que dans le bassin versant de l'Oued sahel l'érodibilité des sols varie entre 0,01 à 0,15 (Tableau III.3).

Tableau III.3 : L'érodibilité des sols [28-29]

Sols	Facteur K (moyenne)
Limono-argileux, argile	0.15
Limono-argileux, sable	0.1
Limono argilo-sableux, argileux	0.1
Sable limoneux	0.06
Sable limoneux, sableux	0.05
Sable	0.01

Les résultats obtenus montrent que plus de la moitié des sols du bassin versant (78%) possèdent une érodibilité très faible atteignant des valeurs comprises entre 0,00001 et 0,1 (Fig. III.4). Seulement 22% de la surface du bassin possède une érodibilité un peu fort supérieur à 0,1.

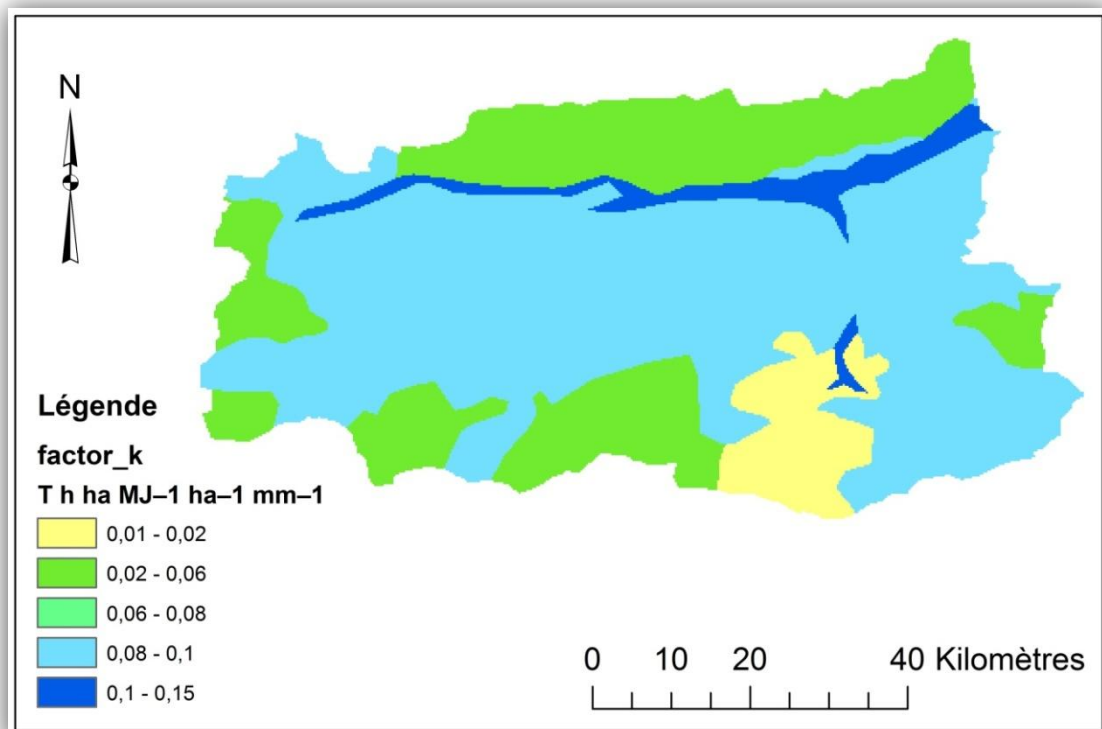


Figure.III.4 : Répartition des classes des valeurs du facteur K dans le bassin versant de l'Oued Sahel

Tableau III.4 : Classes des valeurs du facteur k Oued sahel

Classes	facteur K	Surfaces (Km ²)	Surface (%)
1	0,01 - 0,02	259,4	6,942920309
2	0,02 - 0,06	962,5	25,76160677
3	0,06 - 0,01	1868,3	50,00562071
4	0,1 - 0,15	645,98	17,2898522
total		3736,18	100

La lecture simultanée de la carte géologique et de la carte de la répartition de l'érodibilité montre que les valeurs de **K** diffèrent selon le type du sol. Ainsi, les vertisols, présentent une moyen érodibilité (0,17 - 0,24). Alors que les sols peu évolués présentent une érodibilité élevée atteignant la valeur de 0,3. Les sols peu évolués du bassin de l'Oued Sahel sont localisés surtout sur des versants à fortes pentes limitrophes des vallées où la dégradation des sols est très poussée. Les sols limoneux sont plus sensibles à l'érosion hydrique. On explique cette sensibilité par le fait que les particules limoneuses (2 - 50 µm) présentent une faible cohésion entre elles, ce qui facilite leur détachement et favorise la formation d'une croûte de battance. En effet, ces particules de petites tailles sont facilement transportables par les eaux de ruissellement. On peut donc conclure que le facteur **K** joue un rôle décisif dans le contrôle de l'érosion, mais à un moindre degré.

III.4.3. Détermination du facteur topographique (LS)

Le facteur topographique (**LS**) représente l'effet combiné de la longueur et l'inclinaison de la pente ; La longueur de la pente représente le trajet que peut faire l'écoulement depuis le haut de la pente jusqu'à une structure d'interception. Il est généralement défini comme étant le rapport de perte de sol entre deux parcelles ayant des conditions identiques à l'exception du degré et de la longueur de pente : l'une d'une longueur et d'un degré de pente donnés.

Au moyen des données collectées au niveau des parcelles expérimentales, Wischmeier et Smith (1978) ont développé une relation, présentée sous forme de diagramme, qui permet de calculer la valeur de (**LS**). Ce diagramme est basé sur l'hypothèse que les pentes ont essentiellement des gradients uniformes. Pour la construction du diagramme, l'équation suivante a été utilisée :

$$LS = (L/22,13) \cdot m \cdot (0,065 + 0,045 \cdot S + 0,065 \cdot S^2)$$

L : est la longueur de pente (en m)

S : est l'inclinaison de la pente (en %)

m : est un paramètre tel que, **m = 0,5** si la pente est **> 5 %**, **m = 0,4** si la pente est de **3,5 à 4,5 %**, **m = 0,3** si la pente est de **1 à 3 %** et **m = 0,2** si la pente est **< 1 %**.

La distribution du facteur topographique (**LS**) montre que plus 55 % de la superficie du bassin versant fait partie de la classe 5 à 20 (Fig. III.5), et la majeure partie du bassin est soumise à un grand risque d'érosion.

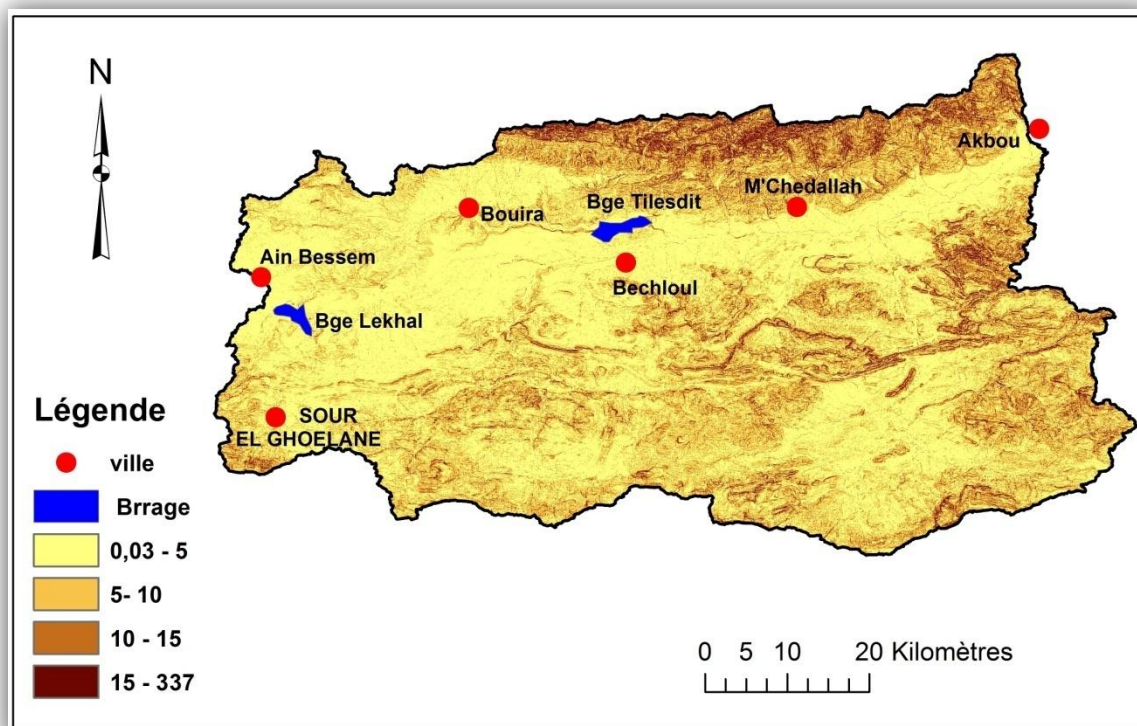


Figure III.5: Distribution des classes du facteur (LS) dans le bassin versant de l'Oued sahel

Tableau III.5 : Classes des valeurs du facteur LS Oued sahel

Classes	facteur LS	Surfaces (Km ²)	Surface (%)
1	0,03 - 5	2074,38	55,52
2	5 - 10	1087,90	29,11
3	10 - 15	448,94	12,01
4	15 - 3379	125,63	3,36
total		3736,18	100

Ces résultats au niveau montrent que l'érosion augmentait de façon exponentielle avec le degré de pente et les pertes en sol étaient fonction de la longueur de la pente. De même, les pertes moyennes en sol augmentent lorsque l'inclinaison de la pente augmente, l'énergie

cinétique des pluies reste constante, mais le transport s'accélère vers le bas à cause d'une augmentation de l'énergie cinétique du ruissellement. Cela montre l'importance de l'inclinaison des pentes dans le processus d'érosion en nappe au niveau bassin.

III.4.4. Détermination du facteur occupation des sols (C)

L'occupation des terres et la végétation sont en rapport avec d'autres facteurs tels que: la topographie, la géologie, les sols, le climat et les caractéristiques hydrologiques. L'occupation du sol, sauf dans les endroits éloignés, est en rapport direct avec les activités humaines. Les activités qui ont la plus grande influence sur l'érosion des sols sont l'agriculture, l'élevage, les exploitations minières, l'abattage du bois, la construction de routes et l'urbanisation (*White, 1986*).

L'occupation du sol dans le bassin versant de l'Oued Cheliff-Ghrib a été analysée en se basant sur l'interprétation d'images satellites Landsat-TM 5 du 24 juin 2016.

Le couvert végétal offre une grande diversité spatiale qui est influencée par des écarts climatiques induits par la proximité de la mer Méditerranée au Nord, d'une part, et le Sahara au Sud, d'autre part. L'activité agricole caractérise fortement la plus grande partie Ouest du bassin. Cette activité agricole concerne essentiellement la partie haute du bassin.

C'est pourquoi, l'approche basée sur le NDVI été plutôt utilisée pour obtenir des valeurs approximées du facteur C. En fait, La valeur du facteur C dépend de la nature de la végétation et du pourcentage du couvert végétal. Ce dernier peut être estimé par l'écart normalisé de l'indice de végétation (NDVI).

Afin d'estimer les valeurs du facteur C dans la région d'étude, on a utilisé la régression entre deux valeurs extrêmes. Ces valeurs sont tirées du diagramme expérimental représenté dans la figure (6.16 (a)) (Gitas et al, 2009).

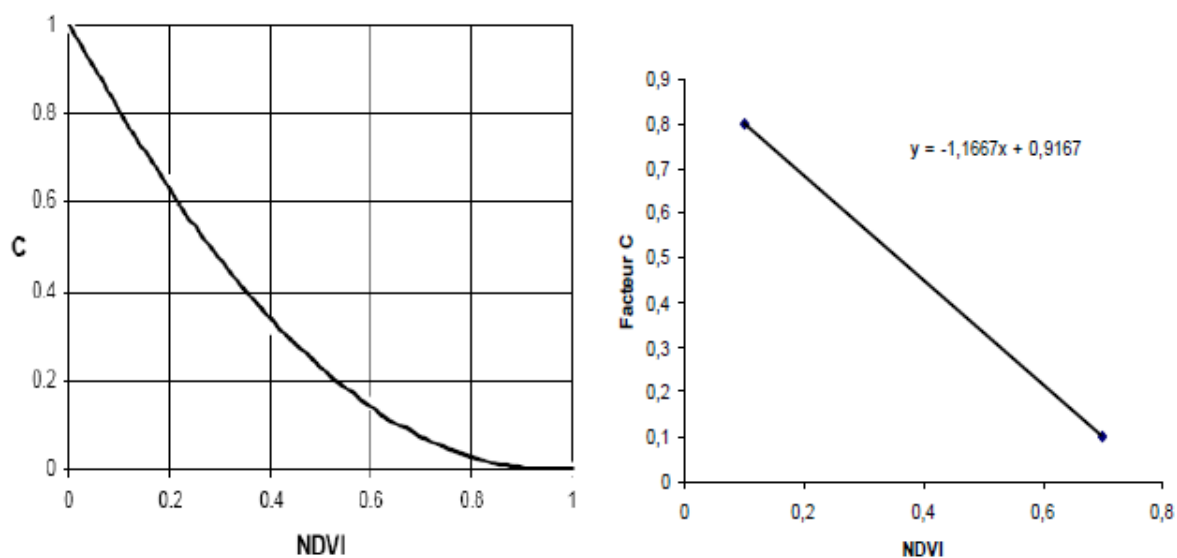


Figure III.6. a) Diagramme expérimental d'estimation du facteur C de *Gitas et al, (2009)*,
b) relation entre le facteur « C » et le NDVI.

La carte du facteur (C) est générée en utilisant l'équation de la droite de régression polynomiale trouvée à l'aide du module « Spatial analysis » d'ARC GIS 10.3.

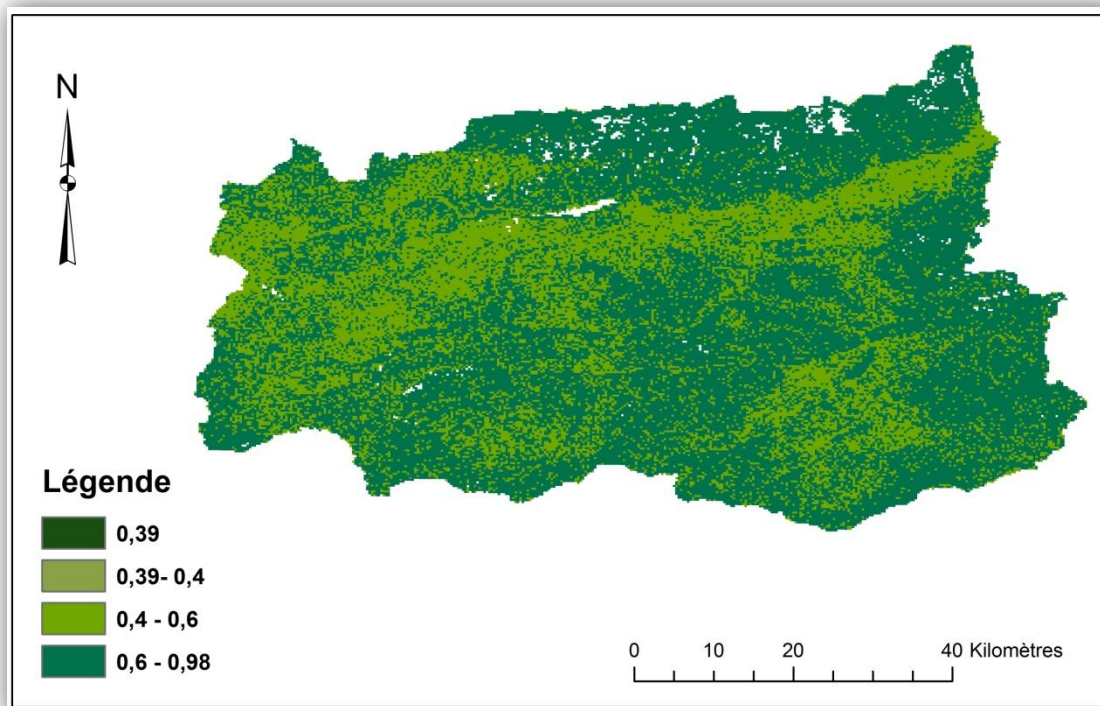


Figure III.7: Distribution spatiale des principales valeurs du facteur C dans le bassin versant Oued Sahel.

Les résultats obtenus montrent que 64 % de la superficie du bassin présente un taux de couverture végétale très fort et seulement 12 % de cette superficie est bien protégée avec $C < 0,6$ (Fig. III.6). Ceci est expliqué essentiellement par la dominance des terrains de parcours dégradés et les zones de cultures qui sont considérés très sensibles à l'érosion.

Tableau III.7 : Classes des valeurs du facteur C Oued sahel

Classe	Facteur C	Surfaces (Km ²)	Surface (%)
1	0,39 - 0,4	339,67	9
2	0,4 - 0,6	1261,39	34
3	0,6 - 0,97	2097,69	57
total		3736,18	100

De même, il est conclu que l'érosion potentielle au niveau de ce bassin versant est fortement accélérée. Dans le même sens, comme nous savons le risque d'érosion hydrique est plus élevé lorsque les sols sont occupés par des cultures de type sarclé peu couvrantes suivies des cultures de type non sarclé, plus couvrantes, puis des forêts où le risque est minimal. Il faut noter aussi que le travail du sol influence la sensibilité du sol à l'érosion. Généralement

les cultures nécessitent un affinement de la couche superficielle du sol, ce qui peut entraîner la formation d'une croûte de battance qui en cas de forte pluie, réduit l'infiltration et accélère par conséquent le ruissellement.

III.4.5. Facteur de conservation (P)

Le facteur de conservation **P** exprime l'influence des méthodes de conservation sur l'érosion. Il est égal à l'unité pour un sol cultivé dans le sens de la pente. Avec l'analyse des nombreuses parcelles où différents systèmes de conservation ont été expérimentés, les facteurs de conservation ont été déterminés et sont présentés au tableau (III.8).

Tableau III.8 : Les valeurs du facteur (P)

Classe	Facteur P	Surfaces (Km2)	Surface (%)
1	0,55 - 0,65	1267,831105	33,9
2	0,65 - 0,85	720,6512239	19,3
3	0,85 - 1	1749,139566	46,8
total		3736,18	100

La cartographie de facteur **P** existants dans la région d'étude se fait à l'aide de carte des pentes ; afin de déterminer sur quel niveau de pente le facteur est situé. Les valeurs de **P** varient selon la pratique adoptée et aussi selon la pente (Fig. III.7).

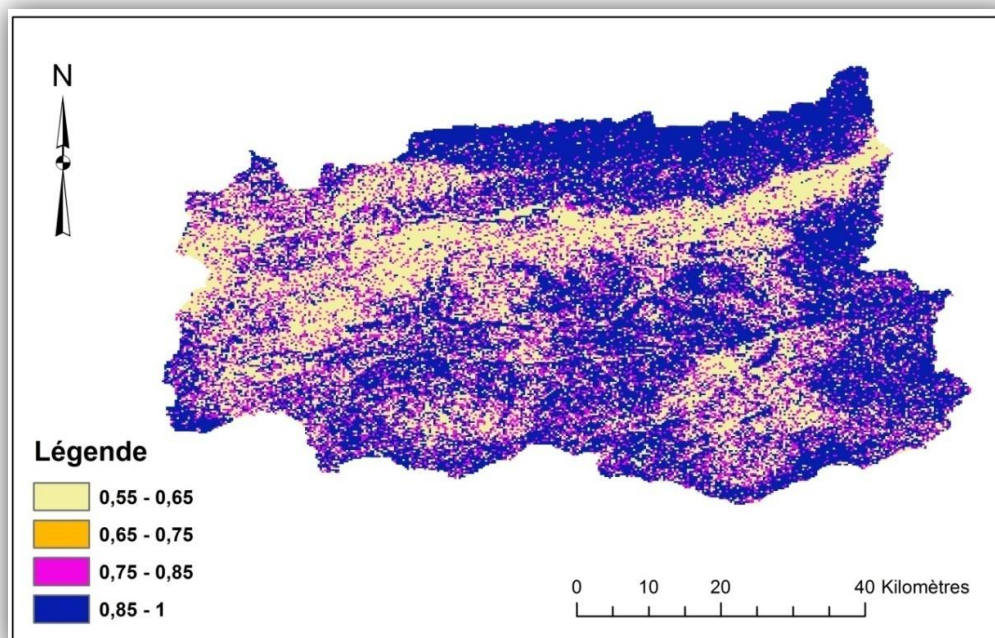


Figure III.8 : Distribution spatiale des principales valeurs du facteur (P) dans le bassin versant sahel.

III.5. Evaluation des pertes en sol

La carte du risque érosif est déterminée en multipliant les couches de résolution représentant les paramètres de USLE en format matriciel. La figure (III.8) n'indique pas seulement la perte du sol de chaque pixel, mais fournit aussi des informations sur les zones critiques vis à vis du risque de la perte en sol.

Pour les besoins de lisibilité de la carte, ces différentes unités ont été regroupées en classes (Tableau III.8). La classification adoptée est une classification établie aux Etats-Unis fondée sur la tolérance des sols aux pertes. Elle suppose qu'en moyenne, les sols peuvent tolérer des pertes allant jusqu'à 7,41 t/ha/an tout en permettant un niveau élevé de production agricole. Au-delà de 20 t/ha/an, la perte est forte et les sols sont très dégradés ce qui peut nuire à la production.

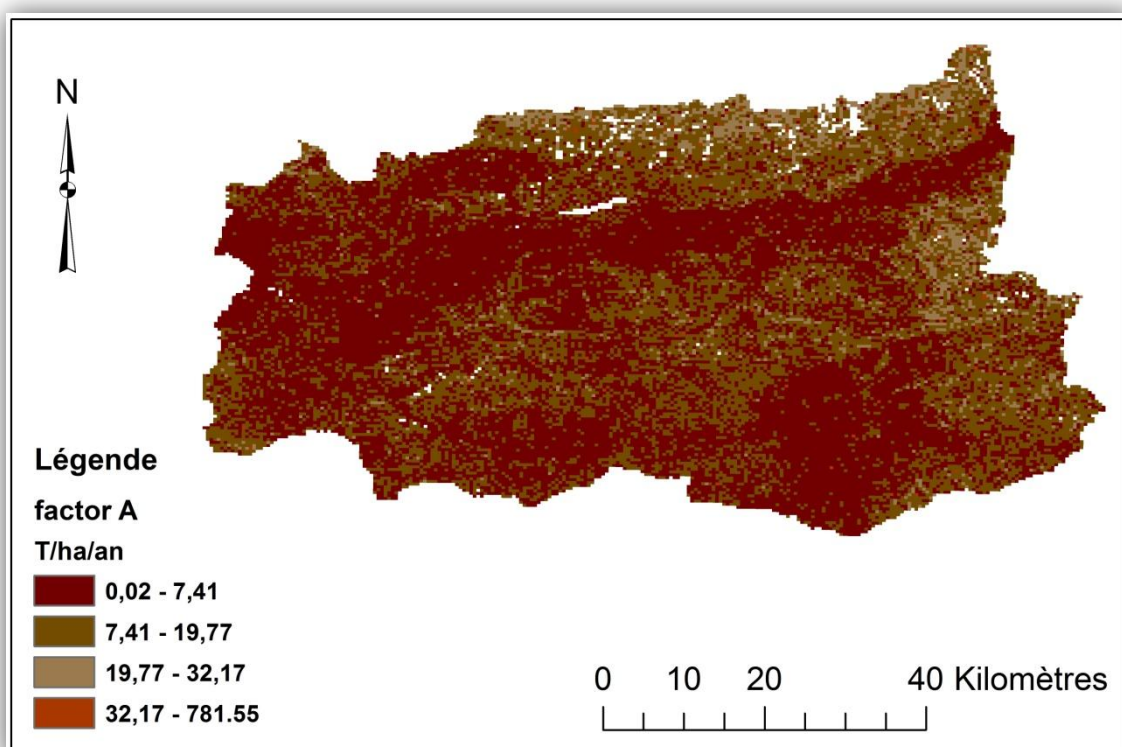


Figure III.9 : Distribution des pertes en sols dans le bassin versant Oued Sahel

Tableau III.9 : classes de risque d'érosion

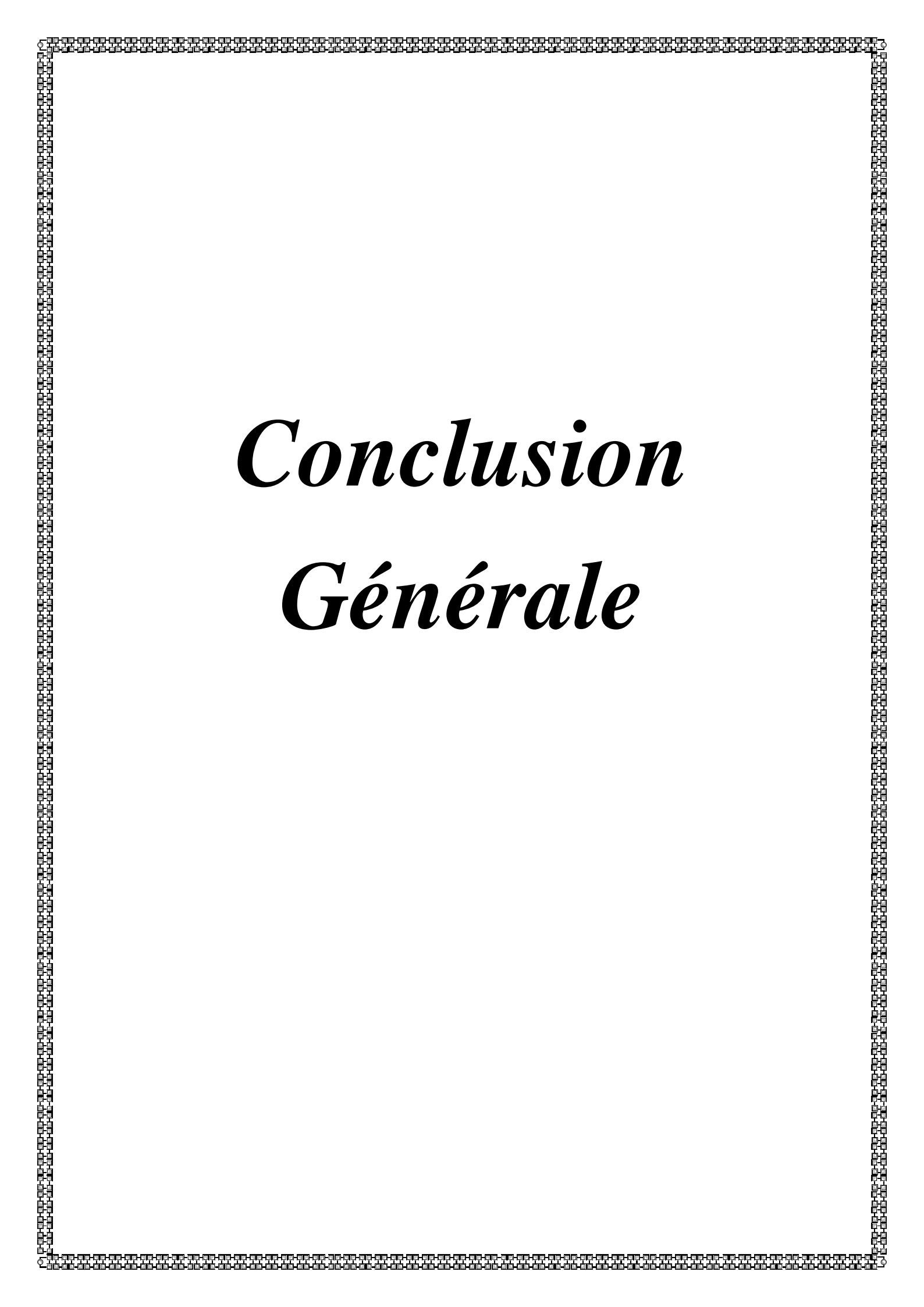
Classes	Érosion des sols	Perte en sol possible	Surface en %
		tonne/hectare/année	
1	Très faible	< 7.41	55.00
2	Faible	7.41 – 19.77	37.30
3	Élevée	19.77 – 32.17	7.20
4	Grave	> 32.17	0.50

Les pertes maximales et minimales par unité sont respectivement de **781.55 t/ha/an** et de **0.02 t/ha/an**, avec **une moyenne annuelle de 8.48 T/ha/an**. Les taux d'érosion diffèrent d'une zone à l'autre du bassin versant, selon l'influence des différents facteurs qui contrôlent l'érosion.

III.6. Conclusion

Le problème de l'érosion des sols abordé au travers de l'équation de *Wischmeier & Smith* s'applique aisément au Systèmes d'Information Géographique par la comptabilité entre USLE et l'algèbre de carte (*Khali Issa & al, 2016*). Le SIG permet de gérer d'une façon rationnelle, une multitude de données, à référence spatiale, relatives aux différents facteurs de la dégradation des sols, ce qui nous a permis de conclure que ces facteurs principaux (R, LS, K, C, P) influencent l'érosion hydrique.

L'application du modèle RUSLE donne des résultats relativement très fiables qui peuvent apporter une aide précieuse, à coûts très bas, aux décideurs et aménageurs du territoire dans le but de simuler des scénarios d'évolution, et par suite cibler les zones prioritaires qui nécessitent des actions de conservation et de lutte contre l'érosion.

A decorative border composed of a repeating geometric pattern of small squares and lines, framing the entire page.

Conclusion

Générale

Conclusion générale

Dans ce travail nous avons étudié le bassin versant d'Oued sahel. La quantification des pertes en sol au niveau de ce bassin versant a été réalisée à l'aide de l'Equation Universelle des Pertes en Sol (USLE) intégrée dans un Système d'Information Géographique ArcGIS.

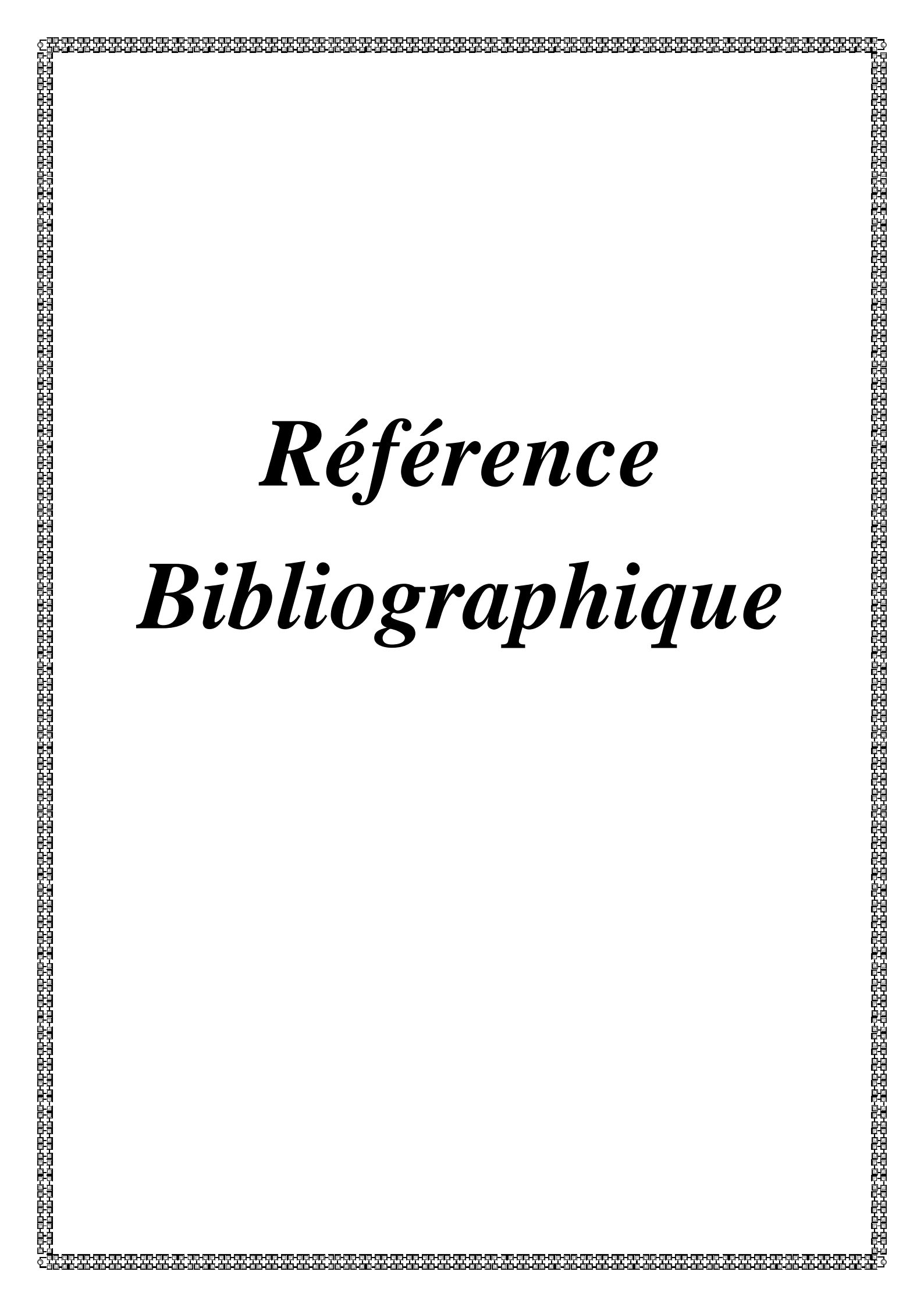
Les techniques de SIG ont été utilisées avec succès pour déterminer les facteurs d'érosion des sols, y compris l'érosivité des pluies (R), l'aptitude du sol à l'érosion (K), l'occupation de sol (c) et longueur / inclinaison de la pente (LS). Par conséquent, les cartes thématiques de ces paramètres et l'érosion du sol estimée ont été déterminées. Avec ces informations, les interventions de gestion peuvent être précisément ciblées.

L'estimation du facteur (R) est basée sur une relation approximée avec les précipitations annuelles. L'extrapolation du facteur (R) sur la totalité du bassin sur l'ensemble du bassin peut être inappropriée à cause de la grande variété de climats que l'on trouve dans le bassin. Le facteur (K) est estimé à partir de la perméabilité. Cependant, le K est en fonction avec la perméabilité et la texture. Pour le facteur (LS), l'angle de pente a été déterminé par un MNT avec une résolution de 30 mètres, qui est peut être adapté à l'échelle du bassin versant.

Les pertes maximales et minimales par unité sont respectivement de **781.55 t/ha/an** et de **0.02 t/ha/an**, avec **une moyenne annuelle de 8.48 T/ha/an**. Les taux d'érosion diffèrent d'une zone à l'autre du bassin versant, selon l'influence des différents facteurs qui contrôlent l'érosion.

L'application du modèle RUSLE donne des résultats relativement très fiables qui peuvent apporter une aide précieuse, à coûts très bas, aux décideurs et aménageurs du territoire dans le but de simuler des scénarios d'évolution, et par suite cibler les zones prioritaires qui nécessitent des actions de conservation et de lutte contre l'érosion.

Le présent travail a délimité, à échelle moyenne, les zones à risque d'érosion et les facteurs déterminants de la dégradation des terres. Par conséquent, le choix d'une zone à analyser en détail à grande échelle qui devrait constituer une zone de référence représentative de l'ensemble du bassin versant s'impose pour affiner les résultats et délimiter les zones les plus exposées aux risques d'érosion afin de protéger le milieu naturel, d'éviter la pollution de l'eau, l'envasement des barrages située dans le bassin et de limiter les flux de migration de la population.

A decorative border with a repeating geometric pattern of small squares and lines, framing the entire page.

Référence
Bibliographique

Références bibliographiques

- [1] 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).
- [2] 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).
- [3] J. Boiffin, La dégradation structurale des couches superficielles du sol sous l'action des pluies. Thèse de doctorat, Institut National Agronomique Paris, (1984).
- [4] Leguedois et al ; Splash projection distance for aggregated soils : theory and experiments. Soil Science Society of America Journal 69, (2005) 30-37.
- [5] 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).
- [6] 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).
- [7] 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).
- [8] Auzet et al. (1995) ; Le Bissonnais, L'érosion hydrique des sols en France, (2005).
- [9] 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).
- [10] Govers et al., Soil roughness and overland flow. Agronomie, 20(2000)131-146.
- [11] 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.
- [12] Yalin, Méchanics of sediment transport, Pergamon Press, Oxford (1980).
- [13] P.Y. Julien. Erosion and sedimentation, Cambridge University Press, 280 (1994).

- [14]** 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).
- [15]** Guide technique de la lutte contre l'érosion des sols en Caps et Marais d'Opale, (Novembre2003).
- [16]** B. Heusch, L'érosion du Pré Rif occidental : une étude quantitative de l'érosion hydrique(1988).
- [17]** E.Mokhtari, Contribution à l'étude du transport solide en suspension Bassin de l'Oued Cheliff - Ghrib, Mémoire Présenté en vue de l'obtention du diplôme de MAGISTER, (2008-2009).
- [18]** E. Roose, Introduction à la gestion conservatoire de l'eau, de la biomasse et de la fertilité des sols (GCES). Bulletin Pédologique FAO 70 (Rome) (1994).
- [19]** J. Moeyersons, Les glissements de terrain au Rwanda occidental : leurs causes et les possibilités de leur prévention. Cah. ORSTOM Pédol. 25 (1) (1989) 131-150.
- [20]** P. Temple et A. Rapp, Landslides in the MGETA area, Western Ulugru mountains, Tanzania, Geomorphological effects of Suddan heavy rainfall. In studies of Soil Erosion and Sedimentation in Tanzania. Rapp, Berry et Temple (eds.). Geografiska Annales 54 (3-4) (1972)157-194.
- [21]** (Roose, 1994).
- [22]** J. Loup, Les eaux terrestres, hydrologie continentale (1974).
- [23]** Roche, Hydrologie de surface, Ed. Gauthier-Villars, Paris (1963).
- [24]** 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).
- [25]** A. Bechrone, 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).
- [26]** Renard, K.G. et J.R. Freimund, et all, Using monthly precipitation data to estimate the R factor in the revised USLE, Journal of Hydrology, N° .157 (1994)287-306.
- [27]** W.H. Wischmeier and D.D. Smith, Predicting rainfall erosion losses - a guide for conservation planning Science, U.S. Dept. Of Agriculture. Agric. Handbook, Washington, D.C,537 (1978).
- [28]** Ch. Allili, B. Laignel, N. Adjeroūd, H. Bir, K. Madani, Particulate Flow at the Mouth of the Soummam Watershed (Algeria), Environmental Progress & Sustainable Energy, N° xx (2015) xx - xx.

- [29]** D. Walling, Sediment yields and sediment delivery dynamics in Arab countries: Some problems and research needs, *Journal of Water Resources*, 5 (1986) 775-799.
- [30]** Ch. Allili, B. Laignel, N. Adjeroud, H. Bir, K. Madani, Particulate Flow at the Mouth of the Soummam Watershed (Algeria), *Environmental Progress & Sustainable Energy*, N° xx (2015) xx - xx.

Résumé

L'objectif de cette étude est la mise en place d'un système d'information géographique (ArcGIS) pour le bassin versant de la sahel pour l'évaluation des risques d'érosion en adaptant à cette région l'équation universelle des pertes en sols (USLE). La méthodologie consiste à croiser, au moyen d'un SIG, les plans d'informations relatifs à l'érosivité des pluies, à l'érodibilité des sols, à la topographie et au mode d'occupation du sol.

Mots clés : *Bassin versant Soummam, Erosion, ArcGIS, USLE.*

Abstract

The aim of this study is the estimation of the erosion risks by adapting the Universal Soil Loss Equation (USLE). The methodology developed to carry out this study consists of a combination of the different information maps such us rainfall erosivity, soil erodability, topography and land use classes using an appropriate geographical information system (ArcGIS).

Keywords: *Soummam watershed, Erosion, ArcGIS, USLE.*

المخلص

الهدف من هذه الدراسة هو تنفيذ نظام المعلومات الجغرافية في مستجمعات المياه لواد ساحل لتقييم مخاطر تآكل التربة عن طريق التكيف مع المعادلة العالمية لفقد التربة. تتضمن المنهجية استخدام نظم المعلومات الجغرافية و الخطط و المعلومات المتعلقة بكمية سقوط الأمطار ونسبة هشاشة التربة و الطبوغرافيا و استخدام الأراضي.

كلمات البحث : *مستجمعات المياه لواد ساحل، تآكل التربة ، نظام المعلومات الجغرافية ، المعادلة العالمية لفقد التربة.*