

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

UNIVERSITE ABDELHAMID IBN BADIS – Mostaganem



Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie
Département des Sciences Agronomique

Mémoire de fin d'études

Présenté par :

Mr. KOUDED Mohamed

En vue de l'obtention du diplôme de Magister

Spécialité : Sciences Agronomiques

Option : Gestion conservatoire des eaux, des sols et de l'environnement

Intitulé :

**Cartographie des risques d'érosion hydrique des sols au moyen
du Système d'Information Géographique
Cas du bassin versant de l'oued Fergoug**

Composition du jury de soutenance

Nom et Prénom	Grade	Qualité	Appartenance administrative
M ^r LARID Mohamed	M.C (A)	Président	U. Mostaganem
M ^r KOURI Lakhdar	Professeur	Directeur de Mémoire	U. Mostaganem
M ^r CHOUIEB Mohamed	M.C (B)	Examineur	U. Mostaganem
M ^r HADDAD Ahmed	M.C (A)	Examineur	U. Mostaganem
M ^r FEKIR Youcef	M.A (A)	Invité	U. Mascara

Thème réalisé au Laboratoire Biodiversité et Conservation des Eaux et des Sols

U.M.A.B MOSTAGANEM

Année universitaire : 2012 /2013

Dédicaces

Je dédie ce travail à :

* *La mémoire de ma mère et mes sœurs*

* *Ma femme et mon enfant Mohamed Younes Abdelmadjid*

* *Mon père ; mes sœurs et mes frères*

* *Tous mes neveux et nièces*

* *Ma grande famille : Koudded, Bakhti, Boumèdiène, Laboukh,
Moukadès , Brahimi...*

* *Les étudiants de ma promotion de post graduation de l'Université de Mostaganem*

* *Mes chers amis Bentabet Toufik et Nahal Mohamed*

* *Mes collègues de la conservation des forêts d'Oran*

Mohamed

REMERCIEMENTS

En préambule à ce mémoire, je souhaite adresser ici tous mes remerciements aux personnes qui m'ont apporté leur aide et qui ont ainsi contribué à l'élaboration de ce mémoire.

Mes remerciements les plus sincères vont tout d'abord à Monsieur KOURI Lakhdar, Professeur à l'Université de Mostaganem, qui a bien voulu prendre la direction de ce mémoire malgré ses multiples occupations. Je lui suis très reconnaissant d'avoir supervisé ce travail et d'avoir patiemment relu toutes les parties de ce manuscrit. Les remarques et corrections minutieuses qu'il a prodiguées m'ont beaucoup aidé.

J'adresse mes remerciements à Monsieur LARID Mohamed, Maitre de conférences à l'université de Mostaganem, qui a accepté de m'honorer par sa présence et de présider ce jury.

A Monsieur CHOUIEB Mohamed, Maitre de conférences à l'université de Mostaganem, qui a accepté d'évaluer ce travail.

A Monsieur HADDAD Ahmed, Maitre de conférences à l'université de Mostaganem, qui a accepté de faire parti du jury, j'exprime mes remerciements.

Mes remerciements vont également à Monsieur FEKIR Youcef Maitre assistant à l'université de Mascara, pour m'avoir aidé dans l'élaboration des différentes cartes d'érosivité.

Résumé : L'intégration des données des différents facteurs de l'Equation universelle de pertes en sol dans le Système d'Information Géographique (SIG), avec lequel on peut estimer les risques d'érosion du sol , a permis d'une manière rapide et efficace de démêler la complexité et l'interdépendance des facteurs dans l'analyse des risques d'érosion. L'intégration dans le SIG des formules de l'Equation universelle des pertes en sol ; en produisant une carte synthétique de répartition des degrés de sensibilité à l'érosion, de déterminer le taux d'érosion ; et d'établir les facteurs déterminants qui contrôlent l'érosion hydrique dans notre bassin versant qui sont, par ordre d'importance : le facteur climatique, la pente, l'érodibilité des sols, la couverture végétale et les pratiques culturelles.

Mots clés : Erosion hydrique, Bassin versant, carte d'érosion, Système d'Information Géographique, équation universelle de pertes en sol "USLE".

Abstract: Integration of maps of the Universal soil loss equation factors into GIS, which can be used to estimate risks of soil erosion, in a fast and efficient way, to disentangle complexity and interdependence of factors in erosion risks analysis and to better determine the impact of each factor and to evaluate its contribution to soil loss. Integration of GIS and the application of the USLE formulas, by producing a synthetic map of sensitivity degrees to erosion, to establish the decisive factors which controls erosion which are by order of importance, the climate factors , the slope, the soil erodibility , the vegetable cover and practical culturally .

Key words: Water erosion, watershed, risk mapping, Geographical Information System, Universal Soil Loss Equation.

SOMMAIRE

Remerciements

Résumé

Abstract

Liste des figures

Liste des tableaux

Liste des abréviations

INTRODUCTION 1

Chapitre I - Etude du phénomène de l'érosion hydrique

1- Le déclenchement de l'érosion	4
2 - Etapes de l'érosion hydrique	4
3 - Les différentes formes d'érosion hydrique	6
3.1 - Erosion hydrique en nappe (SHEET - EROSION)	6
3.2 – Erosion hydrique linéaire	6
3.2.1 - L'érosion en griffes (RILL EROSION)	6
3.2.2 - L'érosion en rigoles	6
3.2.3 - L'érosion en ravines (GULLY EROSION)	7
3.2.4 – Le ravinement généralisé (BAD-LANDS)	8
3.3 - Le suffosion (Tunneling)	8
3.4 – L'érosion en masse	8
3.4.1 - Les glissements lents	8
3.4.2 - Les glissements rapides	9
3.4.3 - Les versants moutonnés	9
3.4.4 - Les coulées boueuses	9
3.4.5 - Les glissements rotationnels	9
4- Les facteurs de l'érosion hydrique	10
4.1 – Le facteur climatique (L'érosivité de la pluie)	11
4.2 – Le facteur lithologique (L'érodibilité du sol)	11
4.3- La topographie	12
4.4 – Le couvert végétal	12
4.5 - L'activité humaine	13
5 - Les conséquences	14
5.1 – L'envasement des barrages	14
5.2 - La pertes des terres arables et la diminution de la fertilité des sols	15
5.3 - La dégradation des infrastructures	15
5.4 - Les conséquences sur l'agriculture	15
6– Méthodes de quantification	16
6.1-L'équation Universelle des pertes en terre: USLE	16
6.2-L'équation Universelle des pertes en terre modifiée: le modèle MUSLE	18
6.3-L'équation Universelle des pertes en terre révisée: le modèle RUSLE	19

Chapitre II - Système d'Information Géographique

1 . Historique.....	21
2. Système d'Information Géographique	21
2.1. Concepts de base d'un SIG	22
2.2. Comparaison des SIG avec d'autres systèmes informatiques	23
2.3. Les différents modes d'un SIG	23
2.3.1. Mode vecteur	24
2.3.2. Mode raster	24
2.4. Les principales fonctions d'un SIG	24
3. SIG et schémas d'aménagement des bassins versants	25

Chapitre III – Cadre expérimental

1.Présentation de la zone d'étude	27
1.1.Cadre général	27
1.2. Présentation de la zone pilote	27
2.Aspects physiques de la zone d'étude	
28 2.1. Le climat	
28	
2.1.1. Les précipitations	29
2.1.1.1. Les précipitations annuelles	30
2.1.1.2. Les précipitation saisonnières	31
2.1.1.3. Les précipitations mensuelles	31
2.1.2. Les températures	32
2.1.3. Humidité hygrométrique	33
2.1.4. Le sirocco	34
2.1.5 Les gelées	34
2.1.6. Les vents	34
2.1.7. Synthèse climatique	35
2.1.7.1. Le diagramme ombrothermique de Bagnouls et Gaussen (1957)	35
2.1.7.2. Les indices climatiques généraux	36
2.1.7.2.1. Le quotient climatique d'Emberger	36
2.1.7.2.2 : Indice de RANGO et ARNOLDUS (1987).....	38
2.2. Morphométrie du bassin versant	38
2.2.1. La forme.....	39
2.2.2. Le relief	39
2.2.3. Dénivelée spécifique.....	40
2.2.4. Hydrographie	41
2.2.4.1. La densité de drainage	43
2.2.4.2. Le coefficient de torrentialité.....	43
2.3. La lithologie	44
2.3.1. L'éocène	44
2.3.2. L'oligocène	44
2.3.3. Le miocène	44
2.3.4. Le pliocène	44
2.3.5. Le quaternaire	45

2.4. La pédologie	45
2.4.1. Les vertisols gris ou noirs	45
2.4.2. Les sols bruns calcaires	45
2.4.3. Les sols rouges fersialitiques	46
2.4.4. Les sols peu évolués	46
2.5. L'occupation du sol	48
2.5.1. Les formations permanentes	49
2.5.1.1. Le couvert forestier	49
2.5.1.2. Les cultures pérennes	49
2.5.2. Le couvert végétal temporaire	49
2.5.2.1. Les cultures annuelles	49
2.5.2.2. Les cultures maraîchères.....	50
2.5.3. Le couvert végétal incomplet.....	50
2.5.3.1. Les pâturages	50
2.5.3.2. Les sols nus	50
3. Aspects socio-économiques	52
3.1. La population	52
3.2. L'Agriculture	52
3.3. L'élevage	53

Chapitre IV – Démarche Expérimentale

1. Objectifs de l'étude	55
2. Hypothèses de travail	55
2.1. Données disponibles	55
2.2. L'équipement de travail	55
2.2.1. Le traitement des données pluviométriques	55
2.2.2. Logiciels cartographiques.....	56
3. Approche méthodologique	57
4. Adaptation de l'équation universelle de perte en terre	58
4.1. Méthode d'utilisation de l'USLE	59
5. Détermination des différents facteurs influençant le processus d'érosion hydrique	61
5.1. L'érosivité de la pluie (R).....	61
5.2. L'érodibilité des sols (K)	62
5.3. Le facteur topographique (LS)	64
5.4. Le facteur culturale (C)	65
5.5. Le facteur de pratique antiérosive (P)	67

Chapitre V- Résultats et discussions

1. Résultats des différents facteurs	69
1.1. L'érosivité de la pluie (R)	69
1.2. L'érodibilité des sols (K)	72
1.3. La topographie (LS)	76
1.4. Le couvert végétal (C)	82
2. Evaluation des pertes en sol dans le bassin versant	85
3. Influence de chaque facteur sur les pertes en sol	86

3.1. Effet de l'agressivité climatique (Facteur R)	86
3.2. Perte en sol en fonction de la pente	88
3.3. Perte en sol en fonction de la longueur de pente	89
3.4. Effet du facteur topographique (LS)	90
3.5. Effet de l'érodibilité des sols (K)	91
3.6. Effet du couvert végétal (C)	92

Chapitre VI- Planification des mesures de conservation des sols

1.1. Le reboisement	95
1.2. Les pratiques culturales	95
1.3. Actions sur les ravinements	96
1.4. Actions au niveau du barrage	96
2. Les techniques antiérosives	96
2.1. Correction mécanique	97
2.2. Correction biologique	98

CONCLUSION	101
-------------------------	-----

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

ANNEXES

LISTE DES FIGURES

Figure 1.1 : Effet des gouttes de pluies « <i>splash</i> »	5
Figure 1.2 : Mécanismes de l'érosion hydrique	5
Figure 1.3 : Principe de formation et d'évolution d'une ravine	7
Figure 1.4 : Différentes formes d'érosion en masse	10
Figure 2.1 : Les couches d'information dans un SIG.....	22
Figure 3.1 : Carte de localisation du bassin versant de l'oued Fergoug.....	28
Figure 3.2 : Variabilité des précipitations moyennes mobiles (5 ans) à Mascara	30
Figure 3.3 : Variations des précipitations moyennes saisonnières.....	31
Figure 3.4 : Variations des précipitations mensuelles des stations de Mascara, Oued Fergoug et Ain Farès.....	32
Figure 3.5 : Variations des températures moyennes mensuelles de la station de Mascara (1977-2005).....	33
Figure 3.6 : Diagramme ombrothermique de la station de Mascara	35
Figure 3.7 : Modifications sur le climagramme d'Emberger.....	37
Figure 3.8 : Carte des classes d'altitude du bassin versant de l'oued Fergoug.....	40
Figure 3.9 : Carte du réseau hydrographique du bassin versant de l'oued Fergoug.....	42
Figure 3.10: Carte d'occupation des sols du bassin versant de l'oued Fergoug	50
Figure 3.11: Répartition du couvert des terres du bassin versant de l'oued Fergoug	51
Figure 4.1 : L'interface du logiciel Mapinfo.....	56
Figure 4.2 : Organigramme méthodologique de l'intégration de l'Equation universelle de perte en sol	60
Figure 4.3 : Organigramme de détermination de l'indice d'érosivité R.....	62
Figure 4.4 : Organigramme de détermination de l'indice d'érodabilité K.....	64
Figure 4.5 : Organigramme de détermination de l'indice LS.....	65
Figure 4.6 : Organigramme de détermination de l'indice de couvert végétal C	66
Figure 5.1 : Valeurs du facteur R, calculées d'après la formule de Rango et Arnoldus	70
Figure 5.2 : Distribution des valeurs du facteur R dans le bassin versant de l'oued Fergoug.....	71
Figure 5.3 : Classes de valeurs du facteur R dans le bassin versant de l'oued Fergoug	71
Figure 5.4 : Carte lithologique du bassin versant de l'oued Fergoug.....	72
Figure 5.5 : Répartition du taux de matière organique dans le bassin versant de l'oued Fergoug	73
Figure 5.6: Facteur érodabilité des sols (K) dans le bassin versant de l'oued Fergoug	73
Figure 5.7 : Distribution des valeurs du facteur K dans le bassin versant de l'oued Fergoug.....	75

Figure 5.8 : Classes d'érodibilité du sol dans le bassin versant de l'oued Fergoug.....	76
Figure 5.9 : Modèle Numérique du Terrain du bassin versant de l'oued Fergoug	77
Figure 5.10 : Carte des classes de pentes dans le bassin versant de l'oued Fergoug	78
Figure 5.11 : Répartition des classes de pentes dans le bassin versant de l'oued Fergoug	79
Figure 5.12 : Carte des classes de longueurs de pente dans le bassin versant de l'oued Fergoug	79
Figure 5.13 : Répartition des longueurs de pentes dans le bassin versant de l'oued Fergoug ...	80
Figure 5.14: Carte des classes du facteur LS dans le bassin versant de l'oued Fergoug.....	81
Figure 5.15 : Distribution des classes du facteur LS dans le bassin versant de Fergoug	82
Figure 5.16: Carte des valeurs du facteur C dans le bassin versant de Fergoug	83
Figure 5.17: Distribution des classes du facteur C dans le bassin versant de Fergoug	83
Figure 5.18: Distribution des classes du facteur C dans le bassin versant de Fergoug	84
Figure 5.19 : Carte des pertes en sol du bassin versant de l'oued Fergoug	85
Figure 5.20 : Evolution des pertes en fonction du facteur R	87
Figure 5.21 : Distribution des pertes moyennes en sol en fonction des classes de pentes dans le bassin versant de l'oued Fergoug	88
Figure 5.22 : Distribution des pertes moyennes en sol en fonction aux différentes longueurs de pentes.....	90
Figure 5.23 : Distribution des pertes moyennes en sol en fonction du facteur LS	91
Figure 5.24 : Evolution des pertes en sol en fonction de l'érodibilité des sols (Facteur K)	92
Figure 5.25 : Répartition des pertes en sol en fonction du facteur C	93

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1.1: Etat des barrages à travers la Wilaya de Mascara	14
Tableau 3.1 : Caractéristiques des stations pluviométriques	29
Tableau 3.2: Classification des reliefs d'après l'O.R.S.T.O.M	41
Tableau 3.3 : Caractéristiques morphométriques du bassin versant de l'oued Fergoug.....	44
Tableau 3.4 : Fiche analytique des vertisols gris.....	46
Tableau 3.5 : Fiche analytique des sols rouges fersialitiques.....	47
Tableau 3.6: Fiche analytique des sols bruns calcaires.....	47
Tableau 3.7 : Fiche analytique des sols peu évolués.....	48
Tableau 3.8: Classe de sensibilité à l'érosion hydrique	51
Tableau 4.1 : Code de la structure et perméabilité selon la texture général des sols	63
Tableau 5.1: Distribution des valeurs du facteur R dans le bassin versant de l'oued Fergoug....	70
Tableau 5.2 : Facteur d'érodibilité des sols en fonction de la texture du sol et du taux de la matière organique.....	74
Tableau 5.3 : Distribution des valeurs du facteur K dans le bassin versant de Fergoug	75
Tableau 5.4 : Répartition des classes de pentes dans le bassin versant de l'oued Fergoug	78
Tableau 5.5 : Répartition des longueurs de pentes dans le bassin versant de l'oued Fergoug....	80
Tableau 5.6: Distribution des classes du facteur LS dans le bassin versant de l'oued Fergoug...	81
Tableau 5.7 : Distribution des classes du facteur C dans le bassin versant de Fergoug.....	84
Tableau 5.8 : Répartition des pertes dans le bassin versant de l'oued Fergoug.....	86
Tableau 5.9: Distribution des pertes en sol en fonction du facteur R dans le bassin versant de l'oued Fergoug.....	86
Tableau 5.10 : Répartition des pertes en sol en fonction des classes de pentes	88
Tableau 5.11 : Répartition des pertes en sol en fonction des longueurs de pentes.....	89
Tableau 5.12 : Répartition des pertes en sol en fonction du facteur topographique LS	90
Tableau 5.13 : Répartition des pertes en sol en fonction de l'érodibilité des sols (K)	91
Tableau 5.14 : Distribution des pertes en sol en fonction du facteur C	92

LISTE DES ABREVIATIONS

A.N.B : Agence Nationale des Barrages.

ANAT : Agence Nationale de l'Aménagement du Territoire

ANRH : Agence Nationale des Ressources Hydrauliques

BTP : Bâtiments et Travaux Publics

FAO : Food Agriculture Organisation.

MNT : Modèle Numérique de Terrain.

MUSLE : Equation Universelle des pertes en terre modifiée.

ORSTOM : Office de Recherche Scientifiques et Technologiques d'Outre Mer.

RUSLE : Equation Universelle des pertes en terre révisée.

SGBD : Système de Gestion de Base de Données.

SIG : Système d'Information Géographique.

USLE : Equation Universelle de pertes en terre (Universal Soil Loss Equation).

INTRODUCTION

INTRODUCTION

En Algérie, pays à climat semi-aride et à forte croissance démographique, l'eau est devenue une ressource très limitée. L'érosion contribue fortement à la diminution des capacités de stockage dans les retenues de barrages par les dépôts de sédiments. L'Algérie perd annuellement une capacité totale de stockage des eaux estimées à 40 milliards de m³ (Remini, 2009). La généralisation et l'accélération de l'érosion du sol revêtent des aspects de plus en plus inquiétants, voir catastrophiques dans certaines zones. Les ouvrages hydrauliques, localisées dans la région marneuse du Tell oranais, s'ensavent à un rythme rapide. C'est pourquoi la protection des bassins-versants de ces retenus est un objectif économique essentiel (Kouri et Gomer, 2010)

Les zones de montagnes restent les plus touchées par ce phénomène, elles subissent une dégradation accélérée entraînant la diminution des capacités de production et l'usure des conditions de vie des riverains.

Les monts de Béni-Chougrane constituent l'un des meilleurs exemples du Tell occidental pour l'analyse des problèmes d'érosion des sols, de la préservation et de la valorisation des terres de montagne.

L'agressivité des pluies, le couvert végétal, la pente, la lithologie, le sol et les techniques culturales sont les facteurs majeurs qui régissent l'érosion accélérée des sols (Roose et al., 1990).

La lutte contre l'érosion hydrique en particulier et la complexité de ce phénomène imposent aujourd'hui l'utilisation de méthodes et de moyens performants pour la gestion de l'information géographique. C'est ainsi que la cartographie de l'ampleur spatiale du phénomène de l'érosion est fournie en utilisant le SIG. Dans ce dernier, on peut intégrer des paramètres des modèles d'érosion comme l'USLE permettant ainsi de faire une modélisation spatialisée de l'érosion des sols et de la production des sédiments.

Cette étude vise à l'évaluation des risques d'érosion et de quantification des pertes en sols dans une région localisée en Algérie occidentale.

Les principaux objectifs de cette étude peuvent être énoncés comme suit :

- une classification de terrain de la zone d'étude en fonction de leur sensibilité à l'érosion hydrique à la suite de la production d'une carte des risques d'érosion hydrique des sols.
- une proposition d'un plan de protection dans la zone par la réalisation des travaux d'aménagement contre l'érosion.

Cette étude consiste à utiliser un modèle empirique USLE (Universal Soil Loss Equation) établi par WISCHMEIER et SMITH en 1978, avec lequel on peut estimer les risques d'érosion et de quantification des pertes en sols.

Le principe de cette étude consiste à intégrer, dans un système d'information géographique (SIG), la majorité des facteurs figurant dans le modèle empirique USLE et dont dépend l'érosion hydrique en nappe des sols à savoir : l'érosivité de la pluie, l'érodabilité des sols, le pourcentage de la pente, la couverture du sol et les pratiques de conservation.

Ce travail s'articulera autour de six chapitres principaux :

- ❖ Dans le premier et le deuxième chapitre nous présenterons une synthèse bibliographique sur l'érosion et les systèmes d'informations géographiques (SIG).
- ❖ Le troisième chapitre sera consacré à une étude succincte des caractéristiques du milieu.
- ❖ Dans le quatrième chapitre nous présenterons la méthodologie adoptée.
- ❖ Le cinquième chapitre présentera les principaux résultats et les discussions.
- ❖ Le sixième chapitre présentera les mesures de conservation des sols dans la zone.

Chapitre I
Etude du phénomène de l'érosion
hydrique

1. Phénomène de l'érosion hydrique

1.1 Le déclenchement de l'érosion

L'érosion des sols intervient lorsque les eaux de pluie ne pouvant plus s'infiltrer dans le sol, ruissellent le long de la parcelle et emportent avec elles des particules de terre. Le sol ne peut plus absorber les eaux en excédent si l'intensité des pluies est supérieure à l'infiltrabilité de la surface du sol, c'est le ruissellement dit "Hortonien ", ou bien si la pluie arrive sur une surface partiellement ou totalement saturée par la nappe, c'est le ruissellement par saturation (Le Bissonais et al, 2002 in BARON,2008).

Le phénomène de ruissellement est ainsi précédé d'un phénomène d'infiltration qui dépend lui-même des conditions initiales d'humidité ou de l'état de surface du sol.

Ce phénomène commence lorsque la goutte de pluie heurte la surface du sol, c'est l'effet « Splash ». Celle-ci, par son impact, détache les particules solides et les transporte.

Le diamètre des gouttes de pluie, leur masse totale et leur vitesse de chute déterminent la capacité de détachement des particules du sol par les précipitations. Ces particules détachées sont déplacées dans le sens de la pente par le ruissellement.

2 - Etapes de l'érosion hydrique

L'érosion hydrique procède en deux étapes (FAO, 1976) :

1. Un détachement des particules du sol sous l'effet semblable à un bombardement des gouttes de pluie ou l'affouillement du ruissellement. (Impact de gouttes de pluies sur le sol « effet splash ») (Figure 1.1). Dans le phénomène de détachement l'énergie de la pluie intervient pour détruire les éléments structuraux. La désagrégation des éléments est d'autant plus rapide que:

- Le sol est plus humide au début des pluies (influence de l'antécédent de pluies).
- La structure du sol est plus instable.
- La structure du sol réellement attaquable est plus grande (intervention de la surface occupée par des cailloux).

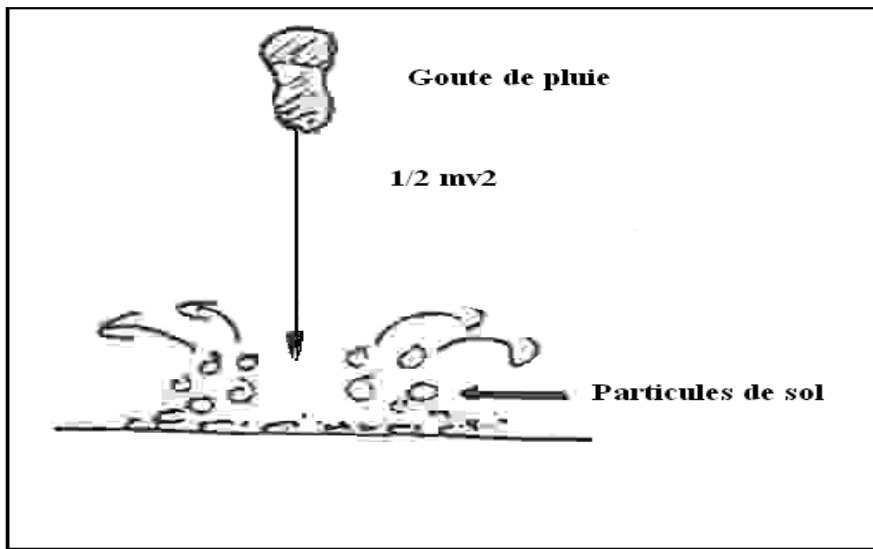


Figure 1.1 : Effet des gouttes de pluies « splash » (TOURE M et al, 2004)

2. Transport de ces éléments par ruissellement (Un entraînement des particules détachées vers le bas des pentes par l'eau qui dévale). Dans le transport des éléments : les éléments les plus fins en suspension seront entraînés par ruissellement. Le ruissellement apparaît lorsque la vitesse d'apport d'eau devient supérieure à la vitesse d'infiltration de l'eau dans le sol. Horton, 1940 in (ROOSE, 1996), affirme que le ruissellement se développe lorsque l'intensité de la pluie dépasse la capacité d'infiltration de la surface du sol. Comme les précipitations, le ruissellement agit sur le sol par des actions de détachement et de transport (Figure 1.2).

La quantité de terre transportée devrait théoriquement être fonction :

- Du temps d'apparition du ruissellement.
- Du volume d'eau de ruissellement (l'augmentation de la charge hydraulique).
- De la granulométrie du sol.

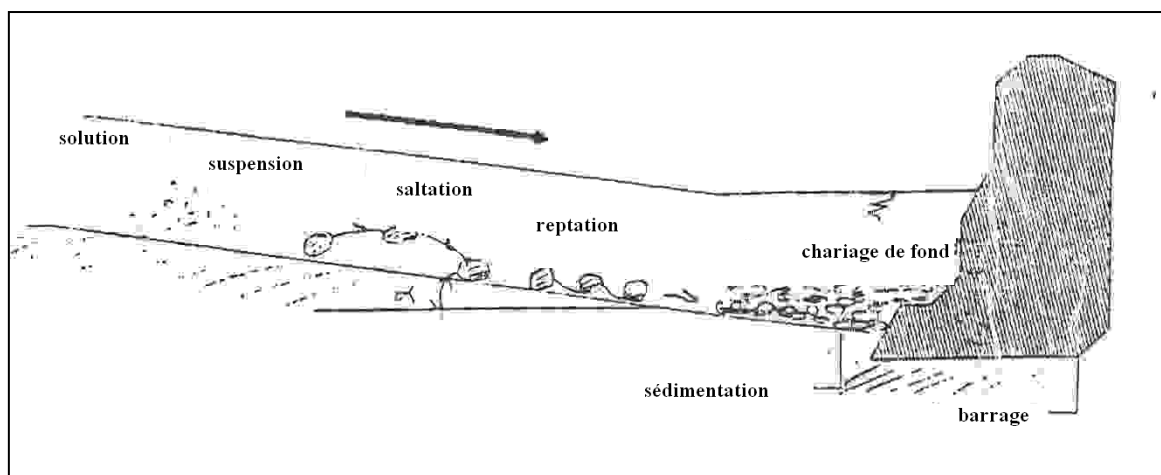


Figure 1.2 : Mécanismes de l'érosion hydrique (TOURE M et al, 2004)

3 - Les différentes formes d'érosion hydrique

L'érosion hydrique est divisée en deux types : érosion en nappe et érosion linéaire, selon le degré de concentration du ruissellement superficiel.

3.1 - Erosion hydrique en nappe (SHEET - EROSION)

On parle d'érosion hydrique en nappe ou aréolaire (sheet érosion) 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. (ROOSE, 1994).

Elle se produit par des précipitations brutales (Vitesse de chute $V < 30$ cm/s) et elle provoque l'enlèvement plus ou moins uniforme d'une mince couche ou "nappe" de sol d'un champ lisse en pente faible non protégée. (FAO, 1983)

3.2 – Erosion hydrique linéaire

Les formes de l'érosion linéaire liée au ruissellement sont nombreuses et spectaculaires:

3.2.1 - L'érosion en griffes (RILL EROSION)

Les griffes se présentent dans le paysage comme des lignes parallèles le long des versants. Leurs tracés sont fins, elles ont une largeur de 10 cm et moins de 10 cm de profondeur environ, quant à la longueur, elle est surtout fonction de l'action des eaux et de la longueur des versants.

Les griffes sont formées au niveau des jachères nues, dans les parcelles travaillées. Elles sont effacées par les labours et les façons culturales. (ROOSE, 1994)

3.2.2 - L'érosion en rigoles

Il s'agit de sillon qui se caractérise par une largeur comprise généralement entre 20 et 30 cm et d'autant en profondeur par contre la longueur est très variable, elle est liée à la longueur des versants. Les rigoles apparaissent surtout lors des grandes averses (on citera le cas des pluies torrentielles), qui s'effacent facilement lorsque le paysan effectue un labour profond, néanmoins certaines rigoles échappent à la gomme des paysans sur les terres abandonnées, ce qui laisse dire que certaines rigoles peuvent évoluer en ravines voire même en ravins.

Quand la capacité d'arrachement des pluies augmente (V entre 30 et 60 cm/s), le sol s'érode de façon inégale et des petites rigoles, entaillant le sol sur plusieurs centimètres de profondeur apparaissent. (FAO, 1976)

3.2.3 - L'érosion en ravines (GULLY EROSION)

Il s'agit d'une incision linéaire suivant le sens de la pente, dont la profondeur minimale est de 1m. Celle-ci peut atteindre 2 à 3 mètres. La ravine peut être classée comme ravin selon certaines descriptions. En ce qui concerne cette appréciation morphologique, elle n'est importante que dans la mesure où elle peut nous aider à appréhender le rythme de l'évolution de l'érosion linéaire d'une façon générale. Par contre la largeur peut avoir une dizaine de mètres quant à la longueur elle est très variable. (Figure 1.3).

Pour des pluies plus intenses ($V > 60$ cm/s), des ravines se forment. Beaucoup d'entre elles ne sont, au début, que des voies de passage des troupeaux, des routes d'exploitation et des sentiers tracés sur des terrains en pente, (FAO, 1976).

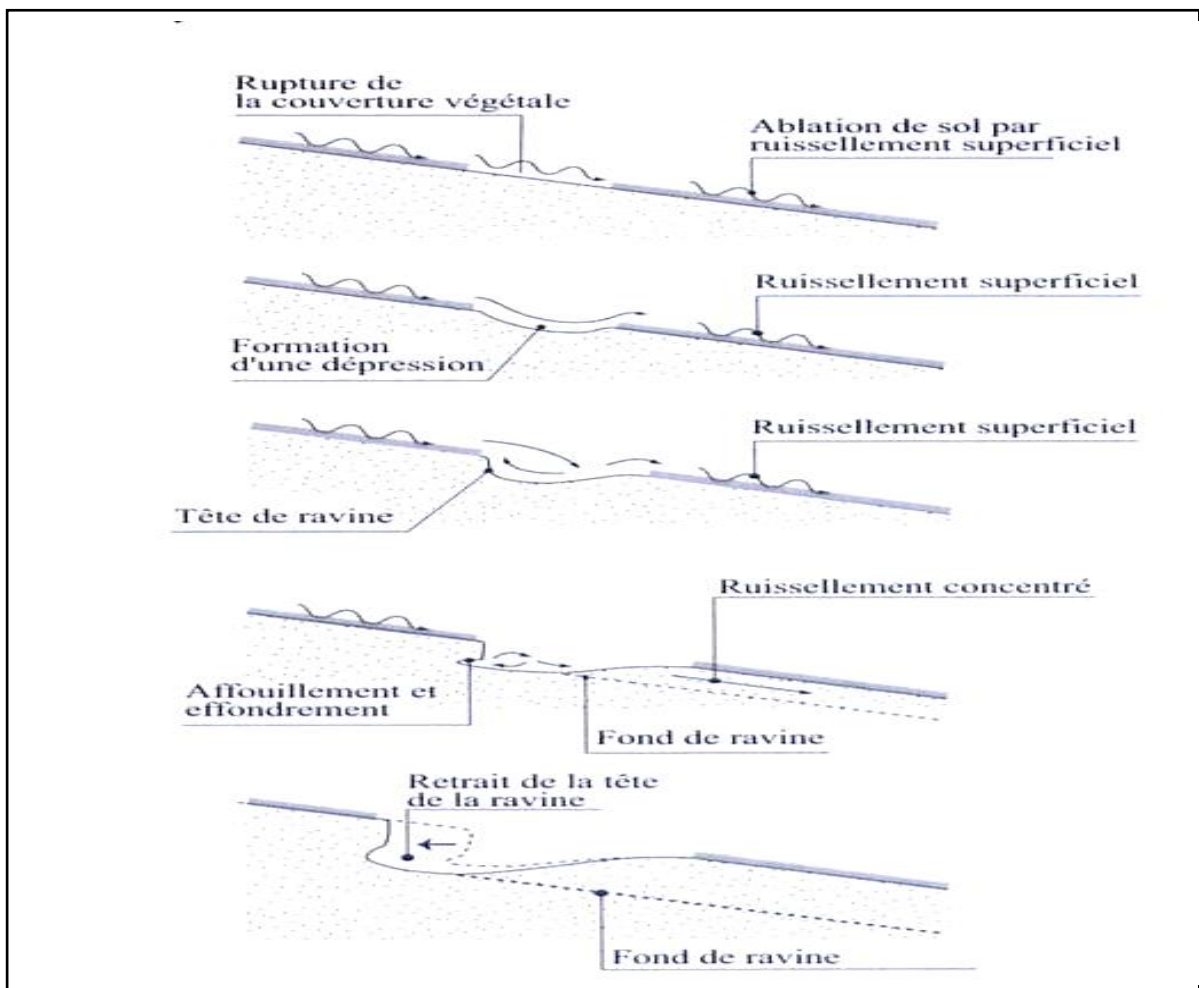


Figure 1.3 : Principe de formation et d'évolution d'une ravine (d'après MORGAN, 1986)

3.2.4 – Ravinement généralisé (BADLANDS)

Il s'agit d'un ensemble de ravins et de ravines juxtaposées liés les unes aux autres par des lignes de crêtes aigües. C'est une forme plus organisée et hiérarchisée des chenaux.

Le profil général, longitudinal est redressé. La pente est forte et régulière. Le versant est généralement dénudé. Les bad-lands représentent le stade ultime du ravinement.

A l'échelle de la ravine, HEUSCH (1982) a estimé que 70% du transport solide proviennent des sapements des berges. Cette forme d'érosion peut transformer le paysage en "badlands».

3.3 - Suffosion (tunneling)

C'est un soutirage qui forme généralement des crevasses élargies débouchant dans des ravins et interrompu en surface par des petits ponts naturels.

Il donne dans ce cas des "niches de soutirage" à la tête de ces ravines. D'une série de trous alignés, on passe au ravin.

Ces trous se localisent généralement sur des pentes moyennes dans des formations marneuses, à couverture végétale clairsemée ou dans des champs cultivés. Ce sont des trous de 0,5 à 1 m de profondeur et d'autant de diamètre. (BELGHARBI et SADAT ,1994)

3.4 – L'érosion en masse

Les mouvements en masse concernent un volume à l'intérieur de la couverture pédologique. Elles marquent souvent une évolution très avancée, voire irréversible. En effet ils sont particulièrement fréquents dans les secteurs marneux. Les versants atteints par ces phénomènes présentent un paysage chaotique.

Les phénomènes de mouvement de masse sont très nombreux mais on peut les regrouper en six groupes principaux (ROOSE, 1994):

3.4.1 - Les glissements lents (Creep)

C'est un glissement plus au 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 arbres 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 entraines la formation d'escaliers encadrés par des réseaux de fissures (MOEYERSONS, 1989). (Figure1.4)

3.4.2 - Les glissements rapides (en planche)

Ce sont des décollements d'une couche plus au moins épaisse de sols, glissant sur un horizon plus compact (souvent de la roche altérée), servant de plan de glissement (Figure 1.4).

3.4.3 - Les versants moutonnés

Ce sont des formes molles qui apparaissent dans des conditions humides lorsque les horizons superficiels dépassent le point de plasticité et progressent lentement, comme une pâte dentifrice, entre la trame de racine qui retient l'horizon de surface est l'horizon compact imperméable que représente l'altérite des marnes ou des argiles par exemple.

3.4.4 - Les coulées boueuses (lave torrentielle)

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 (TEMPLE et RAPP, 1972). (Figure1.4)

3.4.5 - Les glissements rotationnels

Ce sont des glissements où la surface du sol et une partie de la masse glissent en faisant une rotation, de telle sorte qu'il apparaît une contrepenne sur le versant. (Figure1.4)

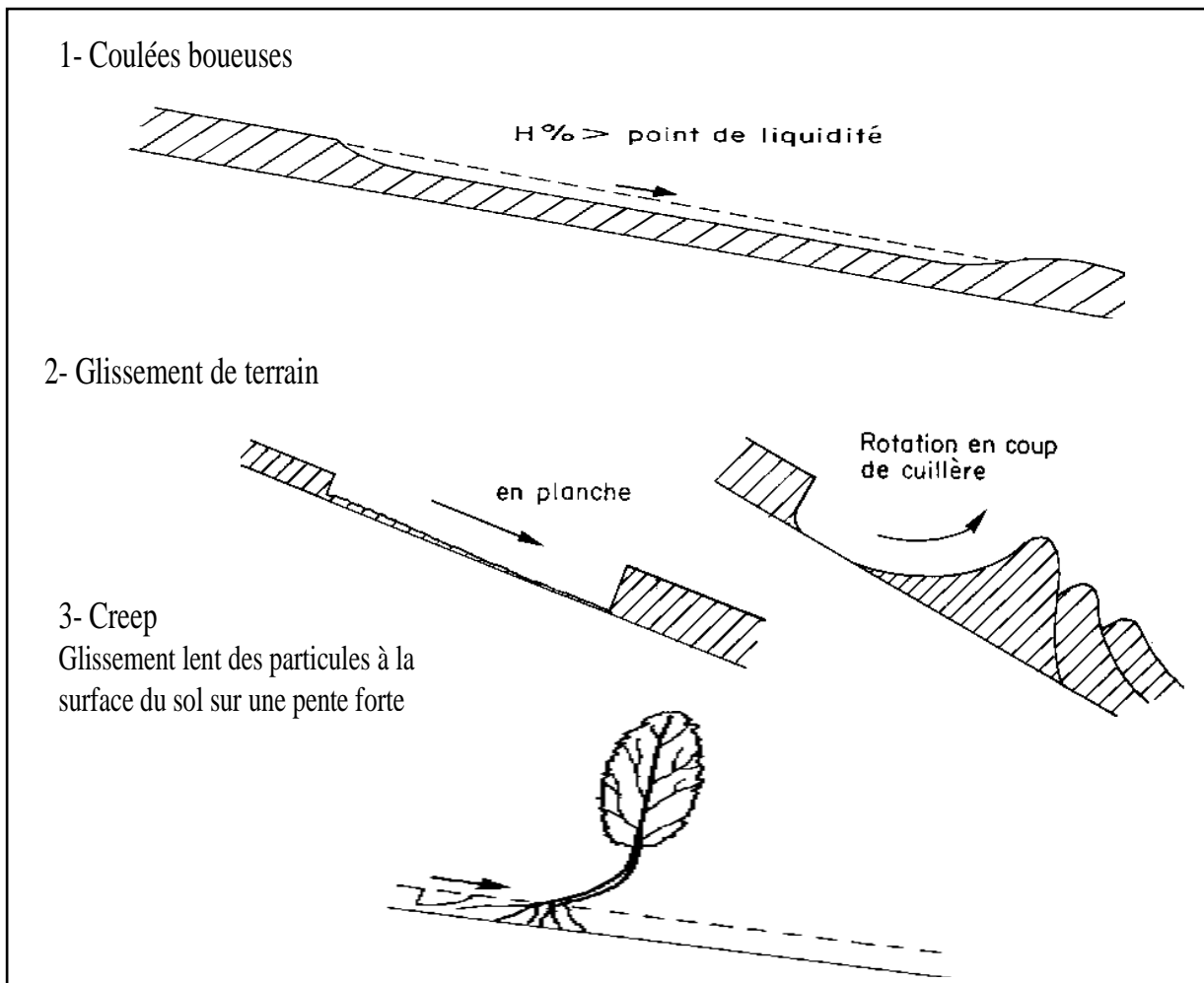


Figure 1.4 : Différentes formes d'érosion en masse (ROOSE, 1994)

4- Facteurs de l'érosion hydrique

L'érosion hydrique dépend d'une gamme complexe de facteurs qui semblent être les mêmes partout dans le monde (Morgan, 1986). Elle est fonction de :

- Facteur climatique « L'érosivité de la pluie »
- Facteur lithologique « L'érodibilité du sol »
- la topographie
- Le couvert végétal
- l'action de L'homme.

4.1 - Facteur climatique (L'érosivité de la pluie)

Le climat est l'élément moteur de l'érosion. Sans précipitation atmosphérique il n'y a pas d'érosion hydrique. Les précipitations atmosphériques, principale cause de l'érosion hydrique, sont caractérisées par la hauteur de l'averse, son intensité et sa fréquence.

On appelle érosivité de la pluie son aptitude à provoquer les phénomènes d'érosion. Elle dépend surtout de l'intensité de la pluie, de la masse des gouttes et de la vitesse terminale de leur chute considérées en termes d'énergie cinétique (PAPY et LE BISSONNAIS, 1997). C'est un phénomène constant et mesurable, mais auquel on ne peut rien changer (FAO, 1996a).

Les zones méditerranéennes semi-arides sont caractérisées par la faiblesse des pluies et leur irrégularité (NAHAL, 1984). Ces pluies sont concentrées sur un nombre restreint de jours et tombant en averse, ce qui provoque une érosion hydrique sévère (RAINEY, 1977 cité par FAO, 1990).

4.2 -Facteur lithologique (l'érodibilité du sol)

L'érodibilité d'un sol représente la sensibilité de ce dernier à l'arrachement et au transport des particules qui le composent. C'est la mesure quantitative et qualitative de la susceptibilité des sols à l'érosion par l'eau et le vent (EL SWAIFY et ROOSE, 1988).

L'érodibilité du sol est sa susceptibilité ou sa vulnérabilité à l'érosion c'est-à-dire le contraire de sa résistance à l'érosion (FAO, 1986). Elle varie surtout avec la texture du sol, sa stabilité structurale et sa capacité d'infiltration. L'érodibilité du sol peut être obtenue à partir de la granulométrie à l'aide des nomogrammes ou à l'aide des mesures sur le terrain réalisées au moyen de simulateurs de pluie (PESAN et al, 1990 cite par BONN, 1996).

Dans les zones semi-arides méditerranéennes, les sols sont très variés. Certains ont tendance à s'éroder facilement sous l'action de la pluie et du ruissellement ; d'autres résistent remarquablement bien, même à de fortes averses (FAO, 1976).

Les sols relativement pauvres en matière organique sont très sujets à l'érosion hydrique (cité par MORGAN, 1986). En effet, la matière organique contenue dans le sol peut absorber et emmagasiner beaucoup plus d'eau que ne peut le faire les fractions inorganiques. Elle fonctionne comme une éponge, prenant l'eau et la relâchant ensuite, à la demande des végétaux (FAO, 1983). De même, les sols de texture fine sont sensibles à l'érosion hydrique (OSBORN et al, 1976). En effet, l'argile tend à diminuer la perméabilité des sols en favorisant la formation des micropores (PAPY et LEBISSONNAIS, 1997).

4. 3- La topographie

Le gradient de la pente du terrain a une influence importante sur l'intensité de l'érosion hydrique. Dès que la pente est suffisante pour permettre à l'eau de ruisseler, le terrain est sujet à l'érosion hydrique. Sur une forte pente, l'eau de pluie en excédent tend à ruisseler plus vite et à causer une érosion plus grave. Le ruissellement et l'érosion commencent sur des pentes faibles (1 à 2 %). Plus la pente est raide, plus l'eau érodera le sol. (HEUSCH, 1970).

La forme de la pente a également son importance. En principe, une pente convexe ou bossue perd davantage de sol qu'une pente droite. Une pente concave ou creuse en perd moins (FAO, 1976).

Quant à la longueur de la pente, elle est de moindre importance pour l'érosion hydrique par rapport au gradient et à la forme de la pente (FAO, 1983 ; Gay, 1996). Cependant, son action est loin d'être négligeable puisque, à précipitation égale, il s'accumulera sur une pente plus longue un plus grand volume d'eau en excédent.

4.4 – Le couvert végétal

Il s'agit du facteur primordial de protection du sol contre l'érosion. Le risque d'érosion augmente lorsque le sol n'a qu'un faible couvert végétal ou de résidus. Les résidus et la végétation protègent le sol de l'impact des gouttes de pluie et de l'éclaboussement, tendent à ralentir la vitesse de l'eau de ruissellement et permettent une meilleure infiltration (BONNET, 1983). L'action de la végétation est multiple :

- ✓ L'interception des gouttes des pluies permet la dissipation de l'énergie cinétique, ce qui diminue dans une large mesure l'effet "splash".
- ✓ Son système racinaire maintient le sol en place et y favorise l'infiltration.
- ✓ Accessoirement, l'évapotranspiration de la plante en asséchant le sol augmente sa capacité d'infiltration. Son développement en surface freine le ruissellement. L'apport en matière organique améliore la structure du sol et sa cohésion.

ROOSE (1977), classe les couverts végétaux en Afrique de l'ouest en 03 groupes :

- Les couverts complets toute l'année : forêt, prairie de plus d'un an et culture arbustives avec plantes de couverture ou paillage.
- Les sols nus ou pratiquement nus durant les mois les plus agressifs.
- Les couverts incomplets au moins durant une partie de l'année : cultures vivrières, industrielles, plantes de couverture ou fourragères implantées tardivement ou encore à démarrage lent.

4.5 - L'action de l'homme

L'homme peut être à l'origine du déclenchement et de l'accélération de l'érosion par les actions suivantes :

- Défrichement de la forêt
- Incendies et surpâturages
- Façons culturales

L'état de la surface du sol présente une importance majeure lorsque le couvert végétal n'assure plus une protection efficace du sol.

Le travail du sol a deux effets antagonistes sur sa résistance à l'érosion :

Premier effet : le travail du sol augmente sa perméabilité et améliore l'enracinement des plantes.

Deuxième effet : le travail du sol peut :

- diminuer la cohésion du sol et ainsi sa stabilité structurale.
- diluer la matière organique et accélérer sa dégradation.
- compacter le sol en profondeur et créer des semelles de labour.

L'expérience montre que le labour a un effet non négligeable sur l'infiltration des petites pluies ou dans la première phase des grosses pluies. Cet effet devient nul ou négatif en fin de grosses pluies ou après quelques événements pluvieux, (HUTCHINSON ,2006).

5 - Conséquences de l'érosion hydrique

5.1 – Envasement des barrages

Le taux de sédimentation a évolué ces dernières années, du fait de la forte érosion des bassins versants. Au début des années quatre vingt, environ 120 millions de tonnes de sédiments arrachés annuellement au niveau des bassins versant du nord algérien (DEMMAK ,1982). Une partie de cette masse se dépose dans les 57 grands barrages construits en Algérie. On évalue le dépôt sédimentaire annuellement dans ces barrages à 45 millions de m³ (REMINI et HALLOUCHE, 2007).

Or du fait de l'érosion assez sensible (pluie de courte durée, de forte intensité, absence du couvert végétal et relief assez jeune), l'Algérie perd annuellement une grande capacité par le dépôt des sédiments dans les retenues. La majorité des barrages en Algérie ont une durée de vie de l'ordre d'une trentaine d'années (tableau 1.1). Il est rare cependant, que l'on puisse admettre a l'issue d'une période aussi courte, l'abandon d'un aménagement hydraulique particulier lorsqu'il s'agit de réservoirs destinés à l'adduction en eau potable ou l'irrigation dont les intérêts socio-économiques justifient une garantie de service illimitée.

Tableau 1.1: Etat des barrages à travers la Wilaya de Mascara

Barrages	Capacité (Hm ³)		Volume d'eau (Hm ³) En 2009	Surface du bassin versant (Hm ³)	Taux d'envasement (%)		
	Initial	actuel			1964	1986	2009
Fergoug	17	0,3	0,3	56 000	60	85	98
Ouizert	100	95	11,35	/	/	/	22
Bouhanifia	72	38	20,14	785 000	23	27	47
Cheurfa	83	79	11,85	100 000	32	/	4,8

Source : DPAT de Mascara,2010

5.2 - La pertes des terres arables et la diminution de la fertilité des sols

Suite à l'extension des différentes formes d'érosion, de grandes surfaces de terres arables disparaissent d'une année à une autre. La diminution de la fertilité du sol (appauvrissement des horizons supérieurs) qui résulte de la détérioration des qualités physiques et chimiques et de l'extension des parcours, s'observe de plus en plus sur ces terres (MORSLI, 1996).

5.3 - La dégradation des infrastructures

La plupart des ravines prennent naissance sur les pentes en bordure des routes. Lorsque ces routes ne sont pas protégées comme il se doit de profondes ravines se forment en bordure des routes et les ramifications qu'elles donnent rongent les champs adjacents (MORSLI, 1996).

5.4 - Les conséquences sur l'agriculture

En effet, l'érosion hydrique diminue la capacité du sol à retenir l'eau et à la mettre à la disposition des végétaux. Les cultures sont alors soumises à des déficits hydriques plus fréquents et plus graves.

Au point de vue physique, la perméabilité des sols décroît, la structure devient compacte, asphyxiante en saison humide. L'eau ne pénètre pas en profondeur, aucune réserve ne se constitue dans le sol pour la saison sèche. Au point de vue chimique et biologique, la faune et la microflore disparaissent et la réserve d'humus est dilapidée, ce qui a pour effet de rendre la nutrition azotée déficiente. Les éléments fins qui constituent la majeure partie du complexe absorbant disparaissent en ne laissant sur place que la trame stérile d'éléments grossiers. Le sol perd rapidement sa fertilité initiale, (GRECO, 1966).

6 - Méthodes de quantification :

D'une manière générale, la quantification de l'érosion est difficile. Elle est mesurée directement sur le terrain où elle est estimée suivant des modèles empiriques qui tiennent compte de l'incidence de toutes les variables de l'érosion hydrique, tant naturelles, comme les types des sols et les précipitations, qu'artificielles, telles que les pratiques culturales.

6.1-L'équation universelle des pertes en terre: (Modèle USLE)

De nombreux essais sur l'érosion des sols ont été conduits aux Etats-Unis par différents chercheurs, dès 1932, sous la direction du service de la conservation du sol et du ministère de l'agriculture. En 1960, Wischmeier et Smith ont finalement abouti à l'Universal Soil Loss Equation due à l'érosion pluviale (Wischmeier et Smith, 1960). En 1991, Renard propose la Revised Universal Soil Loss Equation (Renard et al, 1991). Cette équation est utilisée aux Etats-Unis depuis cette date en agriculture.

L'équation universelle des pertes en terre (mieux connue par son abréviation anglaise, USLE) prévoit le taux annuel moyen d'érosion à long terme sur la pente d'un champ, en fonction de la configuration des pluies, du type de sol, de la topographie, de l'assolement et des pratiques de gestion des cultures.

Ce modèle empirique a été établi à partir du traitement statistique des résultats de nombreuses mesures en parcelles expérimentales menées sur plus de 20 ans. Il exprime les pertes en sol comme le produit de différents facteurs.

$$E = R \times K \times SL \times C \times P$$

E exprimé en t/ha/an est la perte de sol due à l'érosion et constatée par unité de surface pendant une année.

- R est appelé facteur pluie ou indice d'érosivité . Il a été défini comme le produit de l'énergie de la pluie E_c exprimée en MJ/ha par son intensité maximum durant 30 minutes I_{30} exprimé en mm/h (Viguié, 1993). C'est l'indice moyen annuel d'érosion par la pluie. La valeur annuelle de R est obtenue comme la somme de tous les $I_{30} \times E_c$ de chaque pluie de l'année (Diodato et Bellochi, 2007).

- K est l'érodibilité des sols, c'est la sensibilité du sol à l'érosion établie par rapport à une parcelle standard, en tenant compte de la texture, de la teneur en matière organique, de la structure et de la perméabilité du sol. A partir de leurs observations, Wischmeier et Smith ont

créé un nomogramme (annexe 4) permettant de calculer l'érosivité en fonction de la teneur en limons et sables fins, du pourcentage de sables et de matières organiques, de la structure et de la perméabilité (Viguié, 1993).

- SL est le facteur topographique. Il tient compte à la fois de la longueur de la parcelle "L" et de l'inclinaison de la pente "S". Les deux facteurs "L" et "S" sont combinés en un seul facteur topographique qui permet d'évaluer globalement l'influence de la pente sur la vitesse de l'érosion. La formule de Wischmeier et Smith (1978) est la suivante:

$$LS = (1/22, 15)^m (65, 41\sin^2S + 4, 56 \sin S + 0,065)$$

- C, le facteur couvert végétal est un simple rapport entre l'érosion sur sol nu et l'érosion observée sous un système de production. On confond dans le même facteur C, à la fois le couvert végétal, son niveau de production et les techniques culturales qui y sont associées. Ce facteur varie de 1 sur sol nu à 1/1000ème sous forêt, 1/100ème sous prairies, 1 à 9/10ème sous cultures sarclées.

- P, le facteur des pratiques culturales antiérosives permet d'évaluer l'action des pratiques visant à modifier la vitesse, le profil, la pente ou la direction de l'écoulement en surface et à réduire ainsi l'érosion. Par exemple, la culture en pente transversale, la culture en courbes de niveau, la culture en bandes alternées, l'aménagement de terrasses, la présence de bandes enherbées ou encore l'enherbement des rangs dans le sens de la pente sont des types d'actions anti-érosives. Le facteur P est le rapport de la perte de sol observée sur un terrain travaillé mécaniquement d'une certaine façon et protégé contre l'érosion d'une certaine façon avec celle qui a lieu sur la parcelle de référence où le terrain est labouré fréquemment dans le sens de la plus grande pente.

Cette équation permet d'avoir une idée de la quantité moyenne de terre exportée pour différents types d'occupation du sol, mais elle a ses limites.

Elle ne tient pas compte des interactions entre les différents facteurs. En effet, elle se présente sous la forme d'un produit et ne fait donc pas intervenir les liaisons causales qui peuvent exister entre les différents facteurs. Or, dans les régions peu accidentées, à climat peu agressif, les relations entre les facteurs peuvent être plus déterminantes que les facteurs eux-mêmes (Auzet, 1987 cité par Macary et Berville, 2003). Par exemple la dégradation progressive du sol sous l'action de la pluie et la formation de croûte permet à des pluies de plus en plus faibles de provoquer ruissellement et érosion.

D'autre part dans l'USLE la topographie est représentée seulement par le gradient de pente et la longueur de la parcelle. Or l'écoulement peut emprunter des micro-reliefs et être à l'origine de la formation de rigoles ou de ravins. Toutefois le facteur topographique est considéré comme le plus "universellement" applicable de tous les facteurs de l'équation tout au moins pour des longueurs de parcelle comprises entre 10 et 100m et des pentes entre 4 et 25% car sur des pentes inférieures à 4%, il induit une sous estimation importante de l'érosion (Bolline, 1983 cité par Macary et Berville, 2003).

Ce modèle s'applique à des valeurs de pluviométries moyennes. Il n'est en aucun cas valable à l'échelle de l'averse. Des données sur une longue durée sont donc nécessaires. Pour estimer les transports solides à chaque averse, un modèle MUSLE a été mis en place (Williams, 1975).

6.2-L'équation Universelle des pertes en terre modifiée: le modèle MUSLE

L'équation universelle des pertes en sol USLE ne s'applique que pour des données pluviométriques moyennes à l'échelle annuelle. Elle n'est donc pas valable à l'échelle de l'averse. Le modèle MUSLE a été mis au point pour estimer les transports solides de chaque averse. Il ne tient plus compte de l'érosivité de la pluie mais du volume ruisselé (Williams, 1975).

L'équation MUSLE (Williams 1975), se présente sous la forme suivante pour un événement pluvieux donné sur un bassin versant:

$$SY = 11.8 (Q * qp)^{0.56} \times K \times C \times P \times LS$$

SY: production en sédiments d'un événement particulier (tonnes)

Q : volume de ruissellement consécutif à l'averse (m³) au niveau du bassin versant

qp : débit de pointe (m³/s)

L : longueur du versant

Les autres termes, K, C, P et LS sont les mêmes que ceux de l'USLE. L'utilisation de MUSLE nécessite de la métrologie pour connaître les débits et volumes ruisselés.

6.3-L'équation Universelle des pertes en terre révisée: le modèle RUSLE

Le modèle RUSLE propose la même formule que l'USLE mais plusieurs améliorations sont réalisées pour la détermination des différents facteurs. Ceci inclus, une approche différente de l'érodibilité des sols K, une nouvelle équation pour le facteur topographique LS, et une nouvelle valeur pour le facteur C et les pratiques de conservation (Renard et al, 1997).

La méthode retenue par USLE et MUSLE pour calculer l'influence de la topographie LS ne considère qu'une pente simple alors que RUSLE permet de diviser une pente irrégulière en plusieurs segments. Le facteur des pratiques culturales C est calculé dans l'USLE pour une culture selon la période de croissance et la quantité de résidus au sol, alors que la méthode retenue par RUSLE fait plutôt intervenir l'érosivité des pluies et le rapport de pertes de sol .C'est le rapport entre la perte de sol d'une pratique spécifique durant la période culturale et la perte d'un sol nu dans un contexte similaire (Renard et al, 1997). Le terme représentant l'érodibilité des sols K est quant à lui dépendant de la saison.

Comme on le constate, l'application des modèles cités ci-dessus nécessite des données dont la collecte n'est pas évidente à l'échelle de notre pays. Par ailleurs, elle nécessite la disponibilité de quelques logiciels spécifiques. On se contentera donc de l'application du modèle de base de WISCHMEIER, car l'objectif de ce travail vise surtout une démonstration de l'apport des SIG au domaine de la gestion de l'information géographique, et en particulier celle relative au domaine du suivi et de la quantification de l'érosion hydrique.

Chapitre II

Systeme d'information géographique

1 . HISTORIQUE

De tous temps, la connaissance du territoire a été une préoccupation des sociétés. Qu'il s'agisse de localiser des ressources, d'analyser les conséquences des phénomènes climatiques, de prévoir des récoltes, etc., les hommes ont toujours eu besoin, de représenter graphiquement des événements ou des informations.

La carte était une première tentative, datant de plusieurs siècles, pour répondre à ces besoins sociaux, économiques et surtout militaire. Au regard des efforts que nécessitait l'établissement du document cartographique et des apports de l'outil informatique, l'association entre cartographie et informatique, s'est développé dès la fin des années 60 avec l'apparition des logiciels d'aide à l'établissement des cartes. C'est la naissance de la cartographie numérique qui permet d'effectuer un très grand nombre de travaux classiques par ordinateur (ex : calcul des projections, stockage de l'information géographique numérisée, etc.)

Avec l'essor de l'informatique, se traduisant par un développement croissant et rapide du matériel et des logiciels, on a confié à l'ordinateur l'une des tâches les plus fastidieuses du cartographe, la gestion de l'information géographique numérisée.

L'ordinateur est devenu alors l'auxiliaire précieux du géographe et son assistant pour la production cartographique et l'analyse spatiale. Ainsi est né le concept de système d'information géographique.

2. Système d'Information Géographique

Le Système d'Information Géographique est défini comme l'ensemble des organisations et des moyens mis en œuvre dans un organisme pour assurer l'information interne de ce dernier (PORNON, 1991). C'est un système qui permet de gérer l'information géographique.

Ce concept a fait l'objet de nombreuses clarifications. Nous présentons ci-après deux définitions très voisines (COLLET, 1992) mais focalisées pour la première sur les besoins de l'utilisateur et pour la seconde sur ceux des décideurs :

“Un SIG est un ensemble de matériel et de logiciels, autorisant le recueil, la saisie, la codification, la correction, la manipulation, l’analyse et l’édition graphique des données spatiales ou spatialisées : Point, ligne, zone et pixel de différentes valeurs. Un SIG doit pouvoir saisir les données géographiques non structurées qualitatives ou quantitatives, les harmoniser ou les stocker.”

“Un SIG est un ensemble de données repérées dans l’espace, structurées de façon à pouvoir en extraire commodément des synthèses utiles à la décision.

2.1. Concepts de base d'un SIG

Le terme "Système d'information géographique" (SIG) désigne un système de stockage, de traitement et d'analyse de données, spécifiquement conçu pour traiter conjointement l'information graphique et attributaire. Les données spatiales sont généralement sous forme de couches d'information issues de cartes thématiques (figure 2.1), qui peuvent décrire entre autres: la topographie, la disponibilité en eau, la nature du sol, le couvert végétal, le climat, la géologie, la population, la propriété foncière, les bornes administratives ou bien encore les infrastructures (route principales, voies ferrées, réseau électrique, etc.).

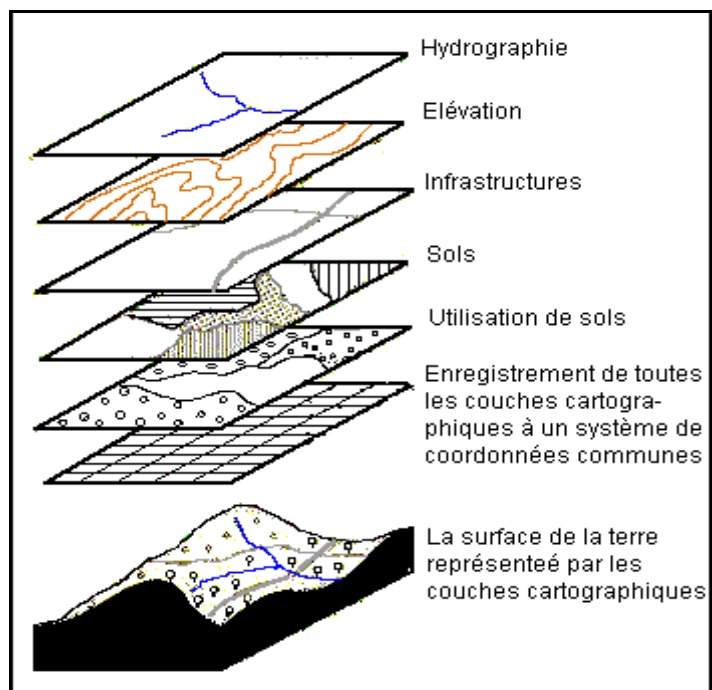


Figure 2.1 : Les couches d’information dans un SIG

2.2. Comparaison des SIG avec d'autres systèmes informatiques

Fondamentalement, un SIG est un système de gestion de base de données (SGBD) spécifiquement conçu pour le traitement simultané des données spatiales et attributaires. Un système de gestion de base de données fournit généralement un langage d'analyse des données qui permet à l'utilisateur d'interroger le système sans tenir compte, ou presque, des mécanismes ou des méthodes qu'il utilise. Un système de gestion de base de données doit également contenir des procédures de vérification de la cohérence de ces données. Il doit permettre le maintien de leur intégrité et faciliter leur mise à jour.

En plus d'un SGBD, un SIG possède également un certain nombre de fonctions analogues à la cartographie automatisée. Toutefois, outre une grande capacité de traitement graphique, le SIG doit aussi être capable de traiter à la fois des attributs non graphique tels que les données statistiques et les données spatiales correspondantes. Par exemple, si l'utilisateur modifie les données spatiales, le SIG modifiera automatiquement la base de données attributaires pour refléter ces changements. Ce lien entre les deux types de données définit à lui seul l'appartenance d'un système au domaine des SIG.

Le SIG n'est pas un SGBD, ni un système infographique, ni un système de cartographie automatisé; en réalité, c'est tout à la fois car il permet d'intégrer tous ces autres systèmes en un seul.

Parmi les principales sources de données géographiques utilisées par un SIG, sont les informations relatives au globe terrestre obtenues par la télédétection. Il s'agit en général d'images numérisées, qui sont le résultat de procédures dénommées "traitement d'image". Une fois que ces images ont été géométriquement corrigées, améliorées, analysées et interprétées, les résultats peuvent être inclus dans un SIG et intégrés avec d'autres bases de données géographiques.

2.3. Les différents modes d'un SIG

Au niveau le plus simple, un SIG est un environnement qui fournit des informations sur les objets spatiaux ; sa principale fonction est d'offrir à l'utilisateur une interface graphique, permettant la localisation des objets à décrire ou l'identification de ceux répondant aux caractéristiques souhaitées. Il existe deux modes pour la représentation de l'information géographique : le mode vecteur et le mode raster.

2.3.1. Mode vecteur

Le mode vecteur répond au souci de représenter un objet de manière aussi exacte que possible. Les unités spatiales d'observation sont elles même des objets spatiaux (point, ligne et zone). Ces derniers sont décrits par leur position, leurs relations avec d'autres objets et leurs attributs (caractères non spatiaux).

Ce mode donne une représentation plus conforme au monde réel. La localisation des objets, leurs dimensions, et les distances sont calculées avec précision.

2.3.2. Mode raster

Ce mode est simple, car les données sont stockées sous forme de tableaux et sont de ce fait faciles à manipuler par un ordinateur. Certaines données (images satellitaires) se présentent directement sous cette forme et leur acquisition est immédiate. De même, les croisements des données sont faciles à réaliser, puisque toutes les grandeurs sont ramenées à la même unité de base : la cellule (ou le pixel).

Dans ce cas, un SIG peut être défini comme étant un environnement conçu pour l'analyse et la modélisation de la distribution spatiale des phénomènes.

2.4. Les principales fonctions d'un SIG

En consultant la boîte à outils d'un SIG, nous voyons qu'un tel système est composé de quatre (04) principaux modules, à savoir : L'acquisition des données, leur gestion, leur manipulation et analyse et leur restitution. Dans le cadre de notre étude, nous décrirons les fonctions indispensables pour l'analyse et les transformations de données :

a) Les conversions (Vecteur <>Raster)

L'information spatiale introduite initialement peut être sous forme vectorielle, ou sous forme raster (matricielle). Un SIG doit permettre le passage du mode vectoriel au mode raster et vice versa. Car chacun de ces modèles a ses propres applications et opérations. Dans le cas de notre travail, les deux modes sont nécessaires et complémentaires.

b) Notion de couches (niveaux, strates ou layers)

L'établissement d'une carte se fait grâce à la superposition de plusieurs planches, chacune d'elles représentant une thématique particulière (hydrographie, altimétrie,...). Dans un SIG, cette notion est toujours conservée. On dira dans ce cas qu'à partir de plusieurs couches de base (informations regroupées selon une thématique choisie), on pourra générer une carte selon un mode particulier de composition de ces couches (on obtient alors une couche résultante).

c) Notion de superposition (Overlay)

Le but de la plupart des SIG est de croiser des données provenant d'origines diverses. L'opération de superposition n'est possible qu'une fois la compatibilité de l'ensemble des couches vérifiée. Cette opération permet la création d'une carte à partir de la combinaison d'une ou de plusieurs autres. C'est une fonction indispensable pour réaliser des modélisations et créer des scénarios.

3. SIG et schémas d'aménagement des bassins versants

Dans un bassin versant considéré comme un système d'écoulement des eaux de surface vers un exutoire, l'aménagement est une problématique complexe qu'il convient d'aborder en tenant compte de tous les facteurs en présence.

Ceci se traduit souvent par une grande masse d'informations géographique que le thématicien devra manipuler pour la planification de ses interventions et l'évaluation de leur efficacité.

Dans cette optique, les SIG sont des outils qui permettent, par leur qualité d'intégration, d'automatiser les procédures d'élaboration de schémas d'aménagement et facilitent les traitements inhérents à l'information géographique. Aussi, ils permettent de synthétiser et d'analyser la masse de données disponibles sur un territoire.

Ils s'avèrent donc l'outil le plus adéquat pour le suivi de phénomènes tels que l'érosion hydrique.

Chapitre III

Cadre expérimental

1. Présentation de la zone d'étude

1.1. Cadre général :

Les monts de Béni-Chougrane se trouvent dans le Nord-ouest algérien. Ils constituent l'un des principaux monts du Tell occidental d'Oranie, avec une superficie de 2860 km² (BNEDER,1982).

Ils sont compris entre deux compartiments bas (la plaine de l'Habra au Nord et celle de Ghris au Sud), Ils se présentent comme une aire de surélévation bien individualisée et avec un aspect montagneux orienté du Sud-Ouest au Nord-Est. A l'Est, l'oued Mina les sépare du massif de l'Ouarsenis.

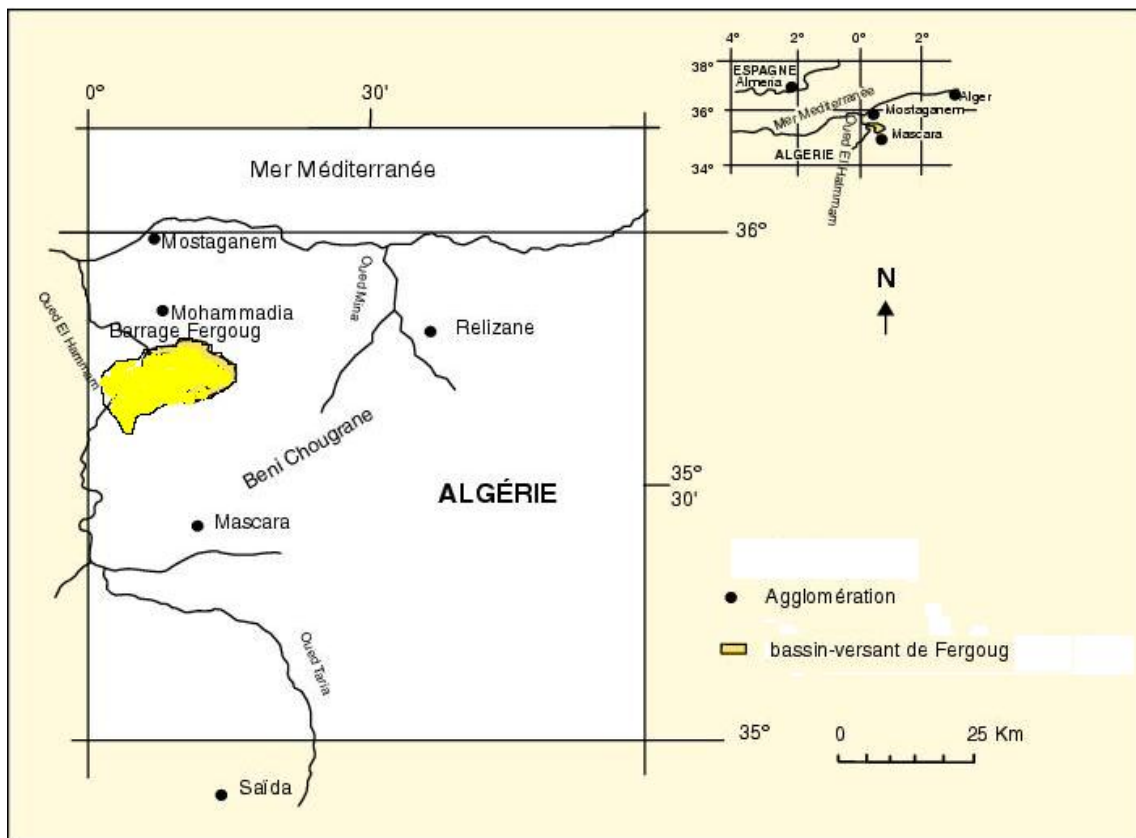
Ces monts sont répartis sur trois Wilaya: Mascara, Sidi Bel Abbes et Relizane.

1.2. Présentation de la zone d'étude :

La zone choisie pour la présente étude, est le bassin versant de l'oued Fergoug. Il fait partie intégrante de la chaîne montagneuse des Beni Chougrane dans la Wilaya de Mascara (figure 3.1). Couvrant une superficie de 574 Km² sur l'ensemble du grand bassin versant de l'Oranie Chott-Chergui.

Sur le plan géographique, notre zone d'étude est cadrée par les coordonnées suivantes :

Longitude	0° 24' E	0° 15' W
Latitude	35° 55' N	35° 25' S



Source : Bouchetata A., Bouchetata T. (2006)

Figure 3.1 : Carte de localisation du bassin versant de l'Oued Fergoug

2. Aspects physiques de la zone d'étude

2.1. Le climat

Le climat englobe l'ensemble des phénomènes météorologiques (températures, pression atmosphérique, vents, précipitations, évapotranspiration) qui caractérisent l'état moyen de l'atmosphère et son évolution en un lieu donné. Il est déterminé par la situation géographique (latitude, altitude, continentalité) et par la circulation atmosphérique. Le climat est un facteur du milieu naturel qui détermine le potentiel agricole d'une région, par ces composantes (pluie, température, humidité, vent...) il influe sur le développement des plantes, la formation et l'évolution des sols. Son action est souvent défavorable dans la mesure où il peut être agent de dégradation du milieu.

L'Algérie est soumise à un climat du type méditerranéen caractérisé par des pluies concentrées à l'époque froide de l'année et dont la sécheresse coïncide avec les mois chauds de l'année, ce qui lui a valu le qualificatif de climat xérothermique (Greco,1966)

Une étude très détaillée du climat de la zone d'étude nous éclairera certainement sur les différents facteurs du climat et leur influence sur l'érosion hydrique. Pour cela nous avons utilisé les données météorologiques de l'ANRH d'Oran relatives aux stations de Mascara, de Fergoug et Ain Farès car seules ces régions présentent des séries complètes pour une période bien déterminée.

Tableau 3.1 : Caractéristiques des stations pluviométriques

Stations	Altitude	Latitude	Longitude	Période
Mascara	474 m	35°,36' N	0°,30' E	1975-2007
Fergoug	511 m	35°,18' N	0°,09' E	1975-2007
Ain Farès	820 m	35°,48' N	0°,15' E	1975-2007

Source : ANRH d'Oran

2.1.1. Les précipitations

La pluie est l'élément causal de l'érosion, il intervient dans les processus érosifs par son intensité, sa fréquence et sa hauteur. La région de Fergoug est marquée par des conditions climatiques contraignantes où les précipitations saisonnières sont très contrastées et irrégulières. Des pluies fréquemment brutales dont l'essentiel se concentre sur quelques jours pendant la saison humide sont assez fréquentes (Bouchetata A et Bouchetata T.,2006). Les pluies agressives exceptionnelles qui s'abattent sur la région, en déclenchant le ravinement et des glissements de terrain, charrient d'énormes quantités de sédiments vers les réservoirs d'eaux (Roose, 2004)

D'après les travaux de Arabi et Roose (1989) et de Kouri (1993) en Algérie, les pluies journalières supérieures à ou égale 20 mm par 24 heures, provoquant des ruissellements et des transports solides sont des pluies torrentielles.

L'analyse des précipitations est réalisée à travers l'étude du régime annuel, mensuel et saisonnier des précipitations.

2.1.1.1. Les précipitations annuelles

Une comparaison des deux séries (Figure 3.2) révèle une fluctuation des précipitations moyennes annuelles qui se traduit par l'existence de fortes oscillations pluviométriques liées à l'instabilité des types de temps. On observe une variation climatique cyclique, vu la faible étendue des séries de données. On note une augmentation des pluies annuelles les dernières années.

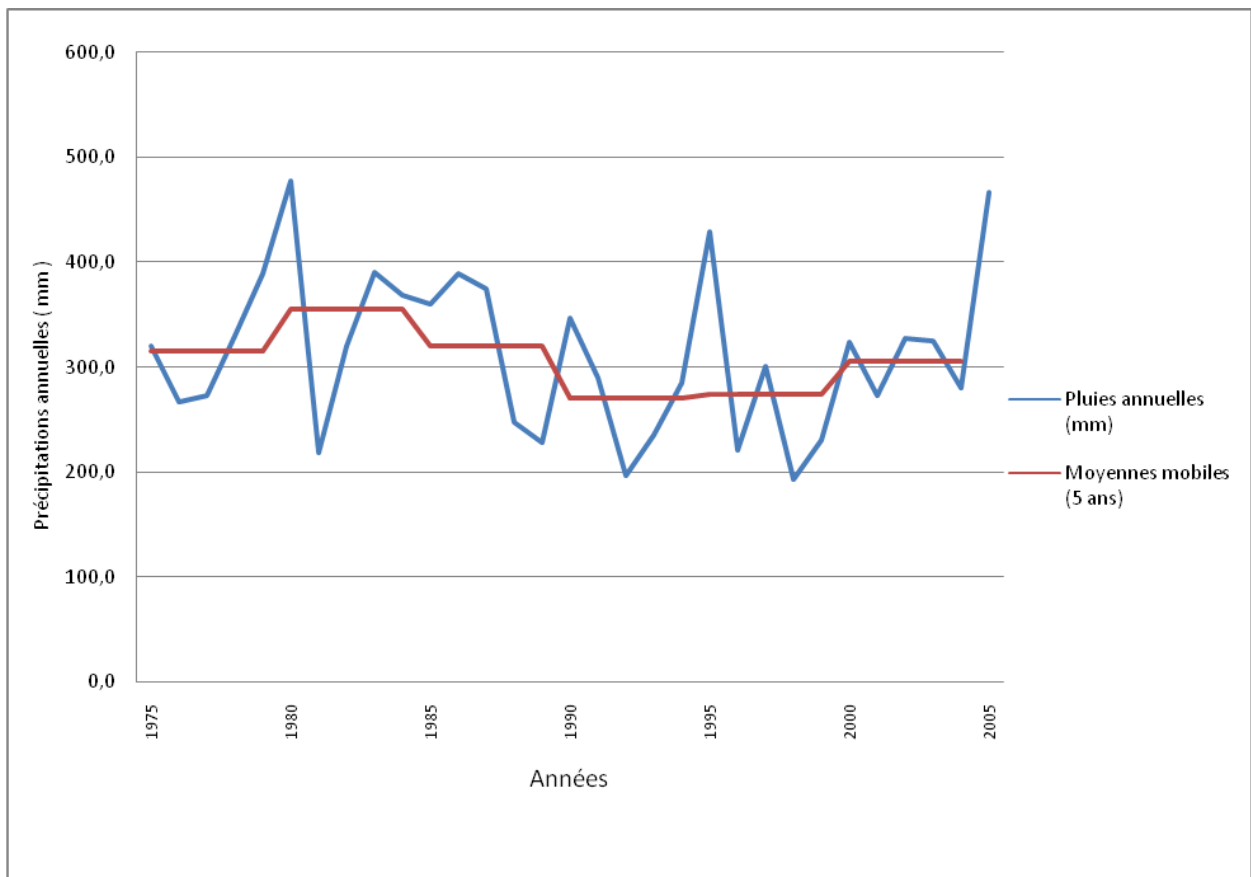


Figure 3.2 : Variabilité des précipitations moyennes mobiles (5 ans) à Mascara (1975 – 2007)

2.1.1.2. Les précipitations saisonnières

De l'analyse de la figure (3.3), il ressort, sur l'ensemble des trois stations que l'hiver est la saison la plus arrosée et l'été correspond à la plus sèche. On remarque aussi que les hauteurs des pluies suivent un cours décroissant qui démarre de l'hiver. Le régime pluviométrique est alors du type : HPAE.

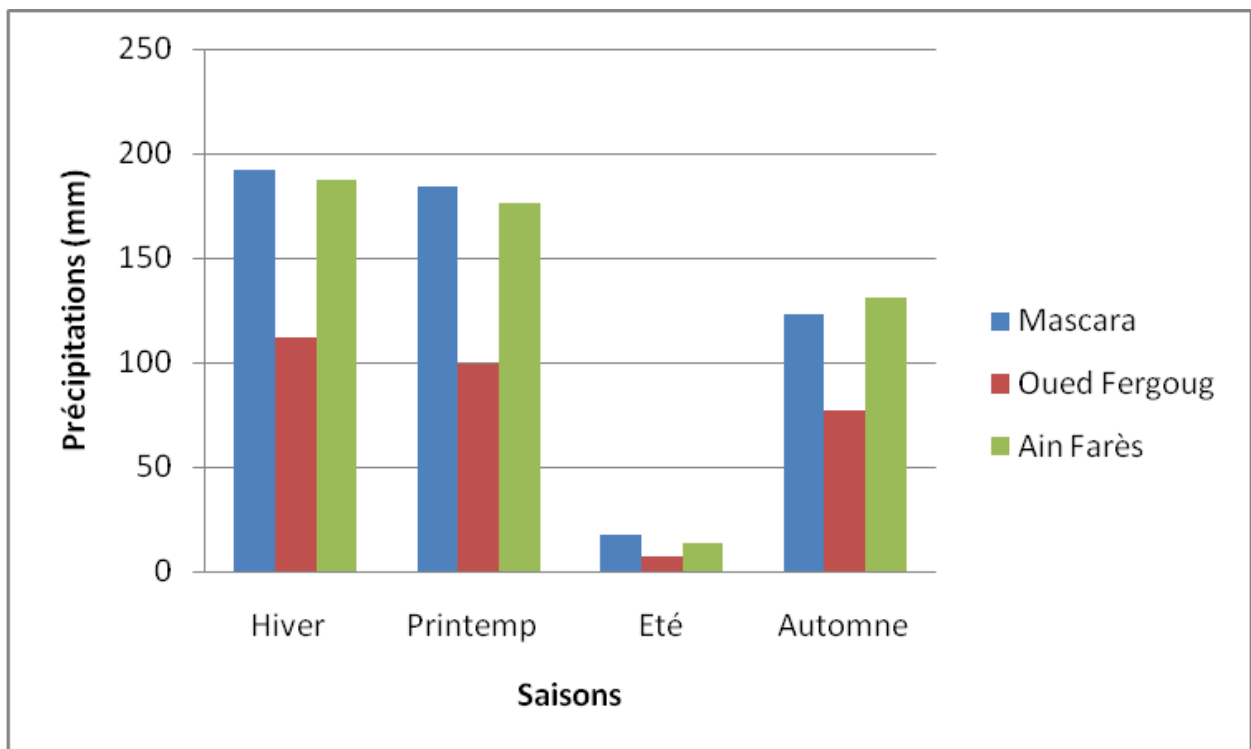


Figure 3.3 : Variations des précipitations moyennes saisonnières

2.1.1.3. Les précipitations mensuelles

L'analyse des précipitations mensuelles révèle que le mois de mars est le plus arrosé. Il ressort aussi que les mois secs correspondent aux mois de juillet pour Oued Fergoug et Ain Farès, en ce qui concerne Mascara, il s'agit du mois d'Aout.

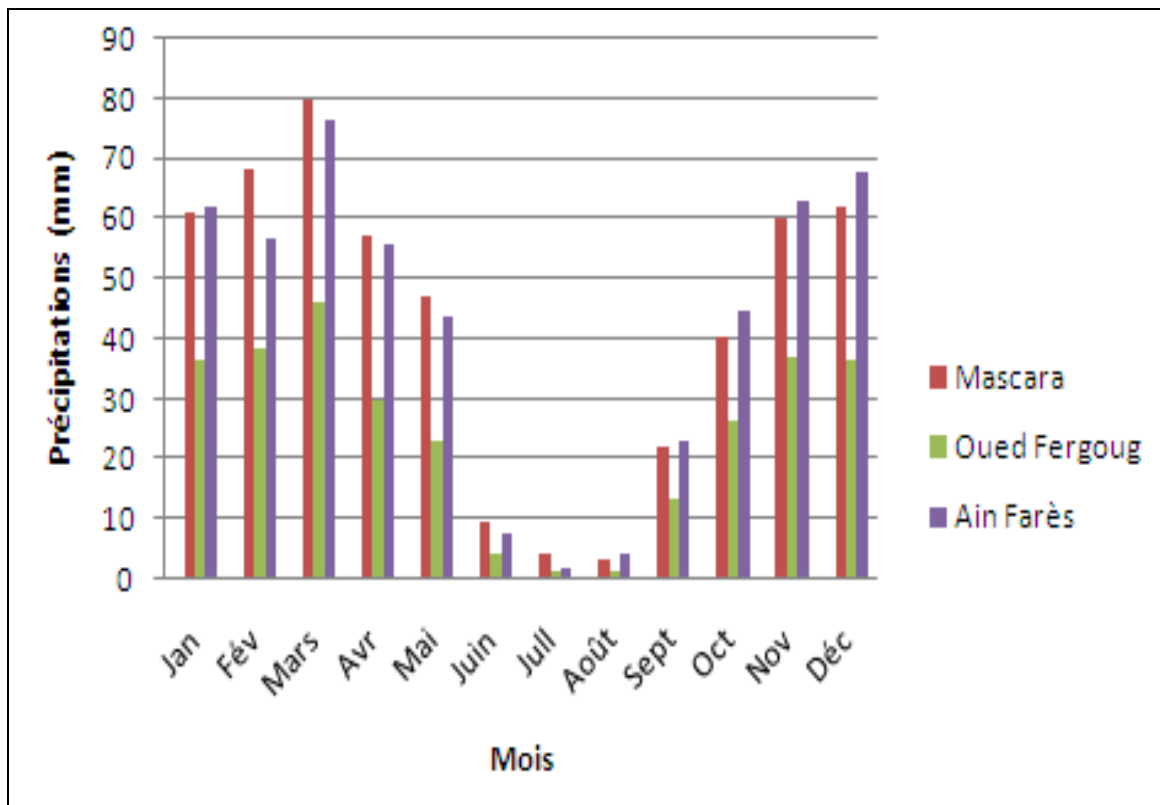


Figure 3.4 : Variations des précipitations mensuelles des stations de Mascara, Oued Fergoug et Ain Farès (1975-2007).

2.1.2. Les températures

Pour cette étude nous n'avons pu disposer que des données de la station de Mascara. Le tableau qui suit présente les températures mensuelles minimales (m), les maximales et leurs moyennes ($M + m/2$) exprimées en °C, pour la période allant de 1977 à 2005.

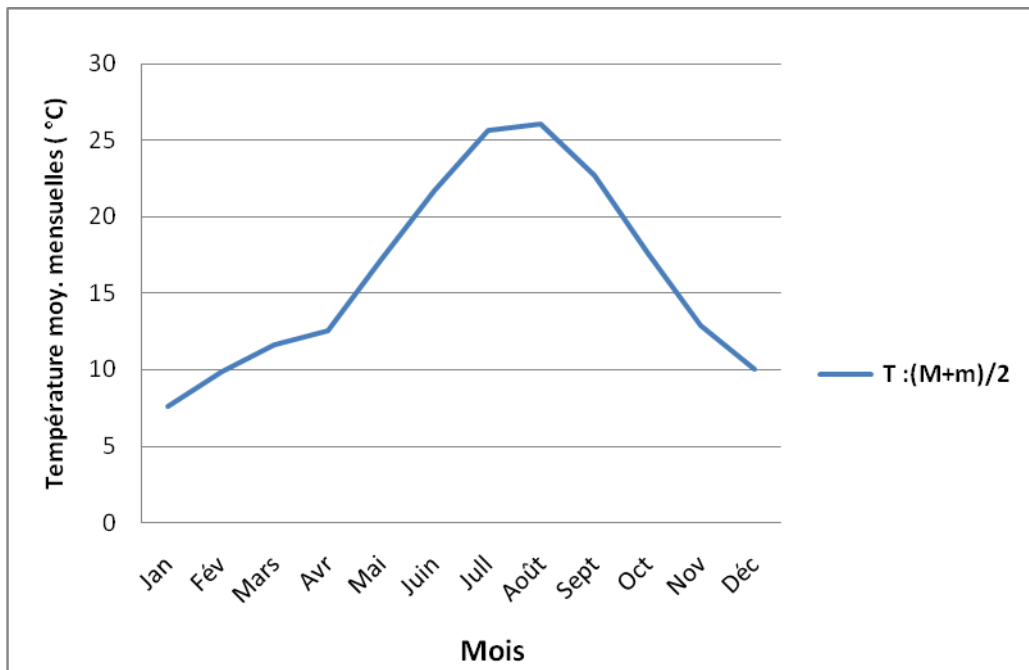


Figure 3.5 : Variations des températures moyennes mensuelles de la station de Mascara (1977-2005)

De part cette répartition de la température moyenne mensuelle nous remarquons que le mois de Janvier est le plus froid (7,54°C), Août correspond au mois le plus chaud (26,23°C). Nous avons aussi estimé la température moyenne annuelle à 16,27°C.

2.1.3. Humidité hygrométrique

L’humidité relative ou état hygrométrique de l’air est le rapport en pourcentage de la tension de vapeur d’eau maximale correspondant à la température mesurée au thermomètre (Hamid *et al*,1992).

Ce paramètre caractérisant l’atmosphère permet d’atténuer la sécheresse comme elle peut être à l’origine du développement de certaines maladies des plantes.

Les maximums d’humidité sont observés en hiver (décembre, janvier, février) et en fin d’automne. Les minimums apparaissent en juillet et août.

A l’échelle de la journée, les observations faites à 7h et 18h présentent les valeurs les plus élevées, le minimum à 13h. On remarque aussi que les moyennes annuelles excèdent toutes les 50%.

2.1.4. Le sirocco

Le sirocco est un vent chaud et sec, de secteur sud, chargé de poussières prenant naissance au Sahara et soufflant sur les côtes de l'Afrique du nord au cours du printemps et de l'été.

Les coups de sirocco (T° élevée et air sec) peuvent intervenir à n'importe quel moment du cycle de la plante. Cependant, les plus redoutés sont ceux observés après la floraison en raison des problèmes d'échaudage du grain qu'ils engendrent (Anonyme,2001).

Ce vent est inexistant en décembre et janvier, il fait son apparition en fin d'hiver (février) et s'étale sur le restant des autres mois avec un maximum en juillet et août.

2.1.5. Les gelées

Les risques de gelées se produisent à partir de novembre et prolongent jusqu'en mai, mais ceux-ci sont très rares. La période de juin-octobre ne connaît pas de gel. Notons que

Les gelées hivernales observées durant le mois de janvier et février (coïncident avec le tallage pour les céréales et les premières ramifications pour les légumineuses alimentaires), sont en général sans effets notables. Toutefois, si elles coïncident avec une sécheresse précoce, elles provoquent la destruction des plants, affectant ainsi la production.

Les gelées de fin avril et début mai coïncident avec la floraison des céréales et les légumineuses alimentaires, particulièrement pour les génotypes précoces, peuvent être à l'origine de graves dommages sur la production de grains à la suite de la stérilité partielle ou totale, d'organes reproducteurs (Anonyme,2001) .

La continentalité offre des fréquences de gelées d'est en ouest et du nord au sud. On dénombre 11,6 jours de gelées durant l'année, c'est un chiffre modeste.

2.1.6. Les vents

Ils constituent un des facteurs reconnus dans la caractérisation du climat méditerranéen, le vent est caractérisé par sa direction, sa force et sa fréquence. SELTZER (1946) a classé les vents selon leurs directions comme suit :

Les vents de secteur ouest, observés à 7 h pratiquement toute l'année, à 13 h, ils sont de secteur Nord entre Mai et Octobre ; ouest et Nord-ouest le reste de l'année, à 18 h, les vents sont de secteurs nord toute l'année.

Les vents dominants sont ceux de l'ouest et du nord-ouest. La force du vent reste constante toute l'année, relativement faible et rarement violente.

2.1.7. Synthèse climatique

Pour caractériser le climat de Mascara, la procédure utilisée s'appuie sur la méthode de Bagnouls et Gaussen (1957). D'autres indices climatiques ont été déterminés, il s'agit de l'indice d'Emberger et de Rango et Arnoldus (1987).

2.1.7.1. Le diagramme ombrothermique de Bagnouls et Gaussen (1957) :

Ce diagramme met en évidence la période de sécheresse et son intensité dans une région donnée. Bagnouls et Gaussen (1957) considèrent qu'un mois est sec lorsque le total des précipitations moyennes exprimé en (mm) est inférieur ou égal au double de la température moyenne en degré Celsius ($P/T \leq 2$). Ces auteurs préconisent pour la détermination de la période sèche (suite de mois secs) de tracer un diagramme sur lequel la température est portée à une double échelle de celle des précipitations. La durée de cette période sèche ressort matérialisée par la surface de croisement où la courbe thermique passe au dessus de la courbe pluviométrique.

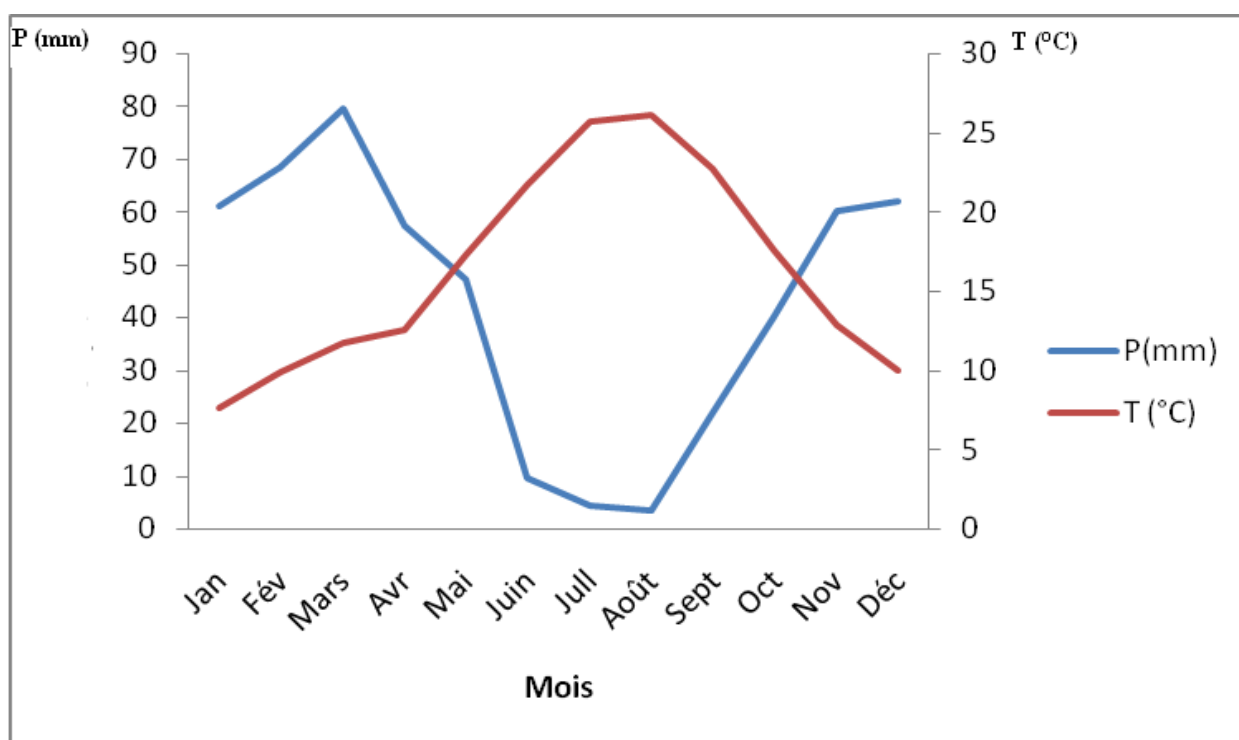


Figure 3.6 : Diagramme Ombrothermique de la station de Mascara (1977-2005)

La période sèche s'étale de début Mai jusqu'à le début Octobre (Figure 3.6). Ainsi à Mascara, 5 mois sur 12 sont considérés comme secs.

2.1.7.2. Les indices climatiques généraux :

Les plus courants sont :

2.1.7.2.1. Le quotient climatique d'Emberger :

Il est utilisé en méditerranée pour la délimitation des aires occupées par divers ensembles de végétation. La méthode d'Emberger permet l'étude du climat à partir d'un quotient pluviométrique dont la formule est la suivante :

$$Q_2 = 2000 P / M^2 - m^2$$

Q_2 : quotient pluviométrique d'Emberger ;

P : précipitation moyenne annuelle en mm ;

M : moyenne des maxima du mois le plus chaud (en degré kelvin) ;

m : moyenne des minima du mois le plus froid en (degré kelvin).

Le calcul a donné une valeur égale à 39,14. En reportant cette valeur sur le climagramme d'Emberger, qui comporte en ordonnée les valeurs de Q_2 caractérisant le degré d'humidité global du climat et en abscisse la température minimale du mois le plus frais (°C), on constate que la station de Mascara est soumise à un climat semi-aride à hiver frais (figure 3.7).

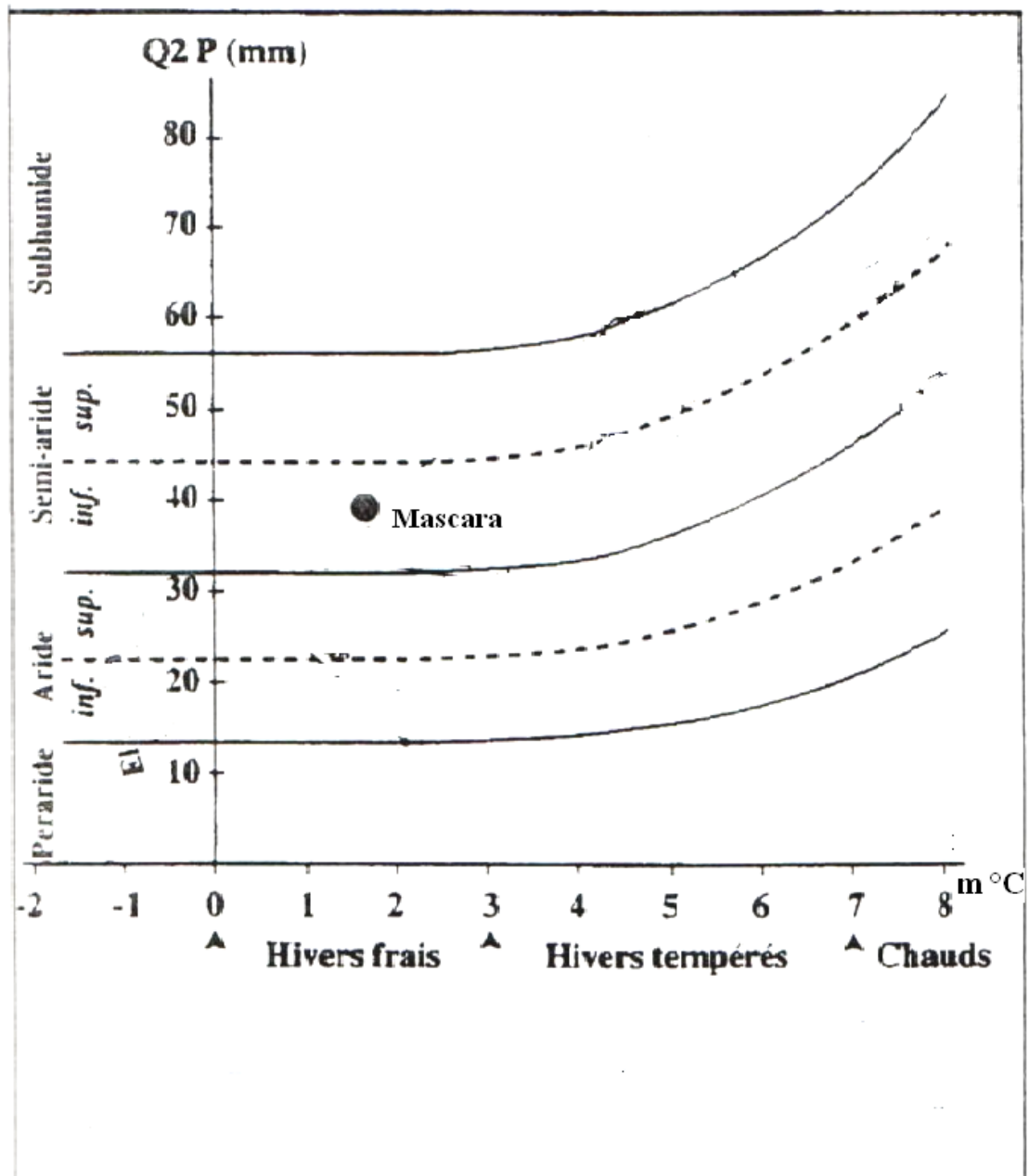


Figure 3.7: Climogramme d'Emberger (1955)

2.1.7.2.2 : Indice de RANGO et ARNOLDUS (1987)

RANGO et ARNOLDUS, en 1987 ont modifié la formule d'Arnoldus (1980) qui est devenue :

$$\text{Log R} = 1,74 \log \Sigma (P_i^2 / p) + 1,29$$

R : agressivité climatique en Megajoules.mm /hectare.heure

P_i : Précipitation mensuelles

P : Précipitations annuelles.

La majorité des auteurs qui ont utilisé le modèle de Wischmeier et Smith pour la quantification de l'érosion, ont adopté, pour le calcul du facteur de l'agressivité climatique "R", l'équation d'Arnoldus sous ses deux formes. Citons entre autres Daghmoumi (1994), El Karkouri (2003) et Sadiki (2005) au Maroc. Litim et Hocine (2009),Maamar (2012) et Neggaz (2012) en Algérie.

Pour le bassin versant de l'oued Fergoug, nous avons opté pour l'utilisation de la formule de Rango et Arnoldus (1987) pour le calcul du facteur d'agressivité climatique. Ceci pour plusieurs raisons :

- les résultats encourageants obtenus par les auteurs précités ;
- cette formule a été développée en tenant compte des caractéristiques du climat marocain plus proche de celui de l'Algérie.

2.2. Morphométrie du bassin versant

Un bassin versant est une zone dans laquelle toutes les eaux s'écoulent vers une même voie de drainage ou nappe. Réunies par le système de rigoles, de fossés, de canaux et nappes, ces eaux déversent dans un cours d'eau ou dans la mer (Topper et al,1985) . Il présente des caractéristiques dites morphométriques qui peuvent intervenir dans la genèse de l'érosion.

Les objectifs à atteindre de cet élément sont de calculer les indices physiographiques du bassin versant, pour mieux connaître le régime hydrologique et la dynamique des matériaux (érosion hydrique).

2.2.1. La forme

La forme du bassin versant a une influence sur l'écoulement et sur l'allure de l'hydrogramme de crue à l'exutoire du bassin versant. Il existe différents indices morphologiques permettant de caractériser la forme, et aussi de comparer les bassins versants entre eux, parmi ces indices celui de Gravelius qui caractérise la compacité du bassin versant. Il est défini par le rapport du périmètre du bassin versant au périmètre du cercle ayant même surface.

$$K_G = 0,28 P/A^{1/2}$$

P : périmètre du bassin versant en Km

A : surface du bassin versant en Km²

Plus ce coefficient se rapproche de 1, plus le bassin versant a une forme circulaire. De fortes valeurs indiquent au contraire un bassin allongé.

Dans le bassin versant de l'Oued Fergoug l'indice de Gravelius est de : $K_G = 1,48$.

Au vu de ce résultat, nous pouvons dire que notre bassin versant est de forme allongé, ce qui augmente théoriquement le temps de concentration.

2.2. 2. Le relief

L'importance des reliefs et leur articulation dans l'espace jouent un rôle essentiel dans le bilan hydrique et par conséquent dans l'aptitude aux écoulements.

Le relief de Fergoug est manifestement accidenté car il consiste en un massif montagneux entaillé du Nord au Sud par l'oued el Hammam, très prononcé conjugué à une sensibilité élevée à l'érosion.

Les altitudes débutent à 80 m et atteignent plus de 720 m au Nord-est du bassin, une légère dominance de terres situées de la tranche de 241 à 562 m (Figure 3.8).

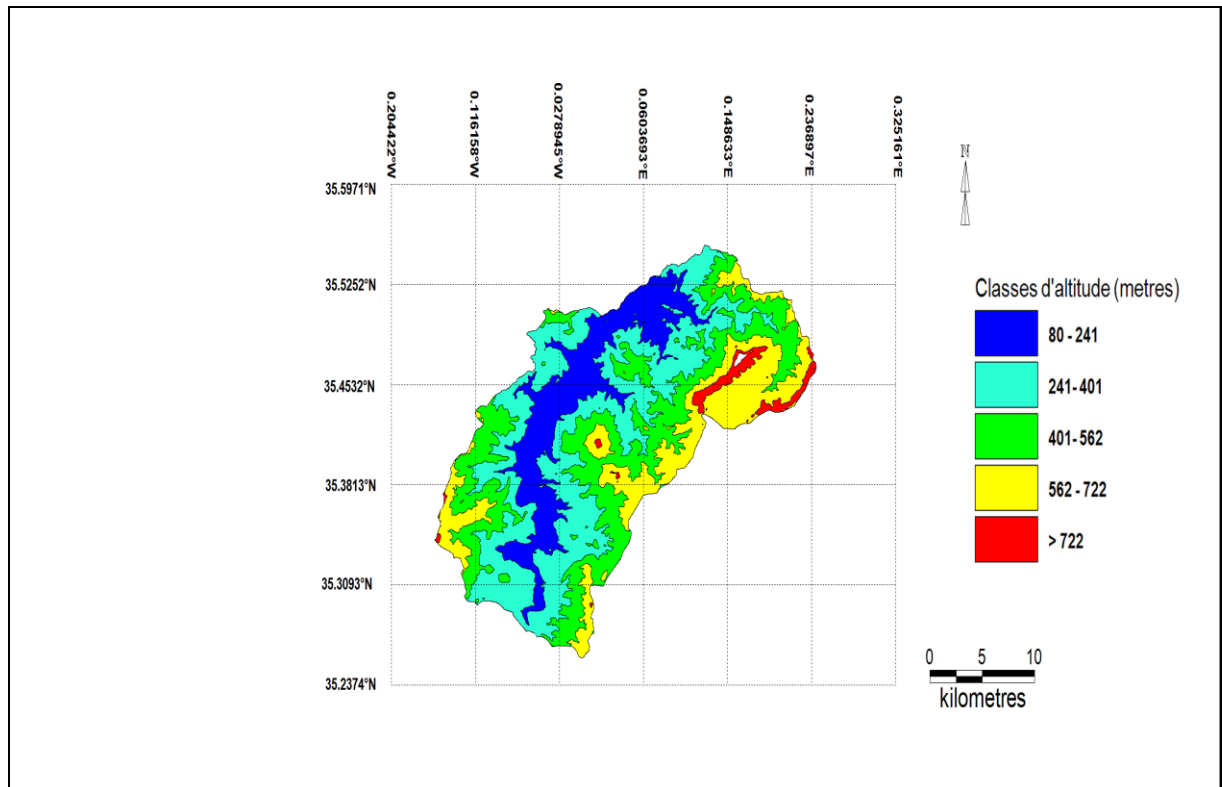


Figure 3.8 : Carte des classes d'altitude du bassin versant de l'oued Fergoug.

2.2.3. Dénivelée spécifique

La dénivelée spécifique a permis d'établir la classification de l'O.R.S.T.O.M. Cette dernière (tableau 3.4) a abouti à la définition des différents types de relief des bassins versants.

La dénivelée spécifique est définie comme suit :

$$D_s = I_g S^{1/2}$$

D_s : dénivelée spécifique, exprimée en m

S : surface du bassin versant, exprimée en Km^2

I_g : indice de pente globale, exprimée m/Km

$$I_g = D/L$$

D : la dénivelée ou bien la distance qui sépare les altitudes ayant 5% de la surface du bassin et celles de 95% ou bien la distance qui sépare les deux courbes de niveau maitresses extrêmes $H_{5\%}$ et $H_{95\%}$.

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

L : longueur du rectangle équivalent

$$I_g = 10,27 \text{ m/Km}$$

$$D_s = 246 \text{ m}$$

D'après la classification de l'O.R.S.T.O.M. La dénivelée spécifique du bassin l'oued Fergoug se trouve dans la classe R5 (tableau 3.2), ce qui correspond à un relief assez fort.

Tableau 3.2: Classification des reliefs d'après l'O.R.S.T.O.M

Classe	Type de relief	D_s (m)
1	relief très faible	$D_s < 10\text{m}$
2	relief faible	$10\text{m} < D_s < 25\text{m}$
3	relief assez faible	$25\text{m} < D_s < 50\text{m}$
4	relief modéré	$50\text{m} < D_s < 100\text{m}$
5	relief assez fort	$100\text{m} < D_s < 250\text{m}$
6	relief fort	$250\text{m} < D_s < 500\text{m}$
7	relief très fort	$500\text{m} < D_s$

2.2.4. Hydrographie

C'est l'ensemble des rivières et autres cours d'eau permanents ou temporaires ainsi que les lacs et des réservoirs dans une région donnée. Le réseau hydrographique comprend :

Un cours d'eau principal, l'oued Fergoug, un des tributaires de l'oued El Hammam qui converge vers le barrage de Fergoug. C'est un cours d'eau à écoulement temporaire qui dépend directement des précipitations. Il est caractérisé par un réseau hydrographique de forte densité comme le montre la figure (3.9).

Le barrage de Fergoug situé à 10 kilomètres au sud-ouest de la commune de Mohammadia (Wilaya de Mascara) a été édifié entre 1864 et 1867 en travers de l'oued El Hammam et de l'oued Fergoug sur un soubassement marneux (Souidi,2000).

Les ravins et ravines servent de source à certains cours d'eau qui convergent vers les collecteurs principaux drainant ainsi toute la région. Ces ravins transportent les sédiments vers la retenue hydraulique de Fergoug contribuant ainsi à son engorgement. Actuellement le barrage de Fergoug est totalement engorgé.

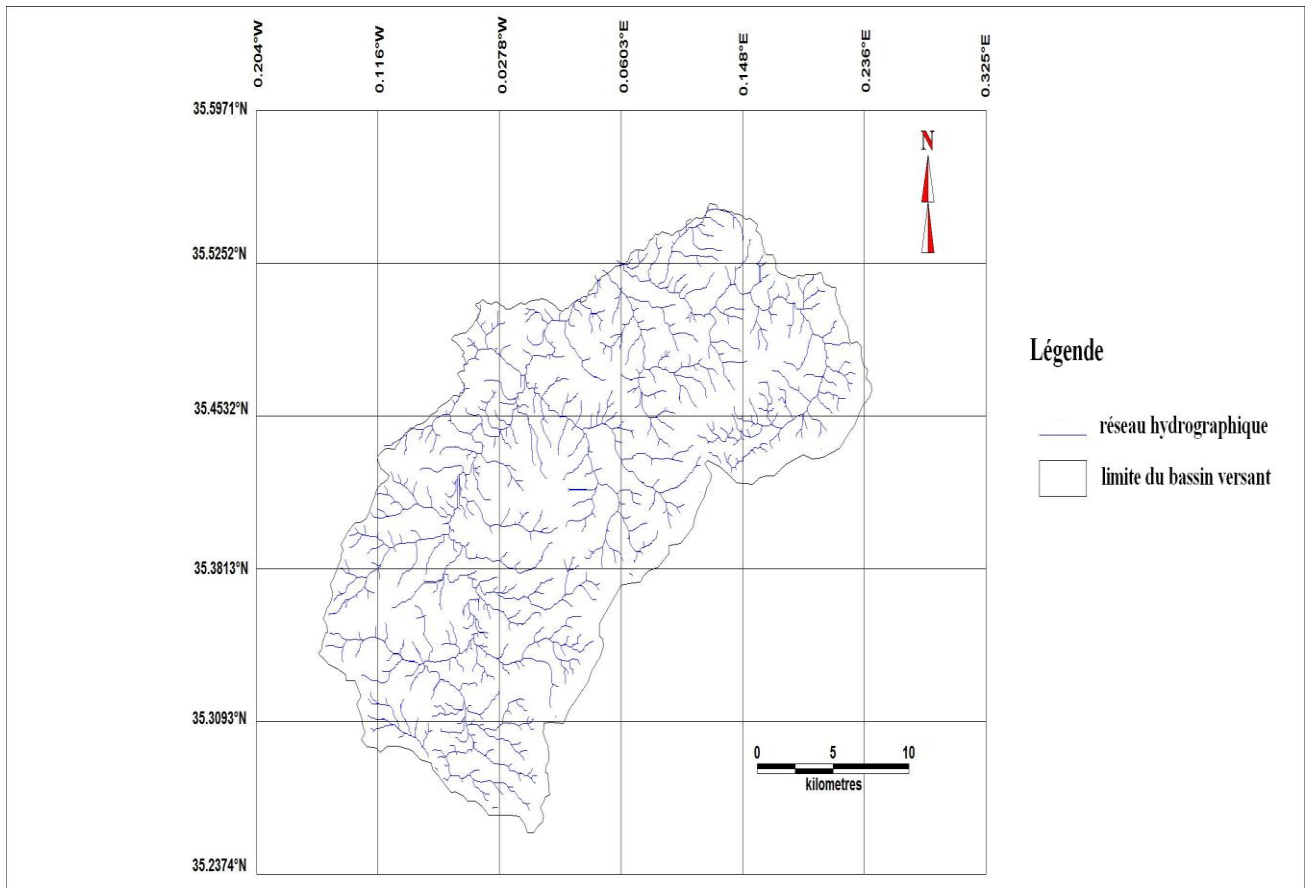


Figure 3.9 : Carte du réseau hydrographique du bassin versant de l'oued Fergoug.

2.2.4.1. La Densité de drainage

Pour un bassin versant de superficie A, la densité de drainage (Dd) est le rapport de la longueur totale des cours d'eau de tout ordre à la surface drainée. Il caractérise l'organisation du chevelu hydrographique et le degré de drainage du bassin versant.

$$Dd = \sum_i^n L_i/A$$

Dd : densité de drainage (Km/Km²) ;

L_i : la longueur des cours d'ordre « i » en Km ;

A : la superficie du bassin versant en Km².

$$Dd = 4,33 \text{ Km/Km}^2$$

Cette valeur indique que la région est bien drainée. Ce drainage est certainement lié aux fortes pentes du versant.

2.2.4.2. Le coefficient de torrentialité (CT) :

Le coefficient de torrentialité (CT) tient compte de la densité de drainage et la densité des thalwegs élémentaires d'ordre 1. Le coefficient de torrentialité est le résultat des ces derniers.

$$CT = Dd.F1 \quad \text{où} \quad F1 = N1/A$$

Avec :

CT : coefficient de torrentialité ;

F1 : densité des thalwegs élémentaires ;

Dd : densité de drainage (Km/Km²) ;

N1 : Nombre de thalwegs d'ordre 1 ;

A : Surface du bassin versant.

$$CT = 16,5$$

Cette valeur forte du coefficient de torrentialité est liée aux nombres élevés des affluents. Elle témoigne un risque élevé d'érosion linéaire.

Tableau 3.3 : Caractéristiques morphométriques du bassin versant de l'oued Fergoug.

Désignation	Unité	Caractéristique
Superficie du bassin versant (A)	Km ²	574,0
Périmètre du bassin versant (P)	Km	125,4
Indice de compacité de Gravélius (K_G)	-	1,48
Dénivelée spécifique (H5% - H95%)	M	532,0
Dénivelée spécifique (D_s)	M	246
Pente moyenne du bassin	m/ Km	23,47
Indice global de pente (I_g)	m/ Km	10,27
Densité du drainage (Dd)	Km/Km ²	4,33
Le coefficient de torrentialité (CT)	-	16,5

2.3. La géologie

La zone d'étude est constituée de quatre grands ensembles géologiques bien distincts.

2.3.1. L'Eocène : Il affleure dans les bordures sud-ouest des monts. Il est représenté par une alternance de bancs grésocalcaires et de couches argilo-marneuses de plusieurs mètres d'épaisseur.

2.3.2. L'Oligocène : Les affleurements de cette formation sont répartis à travers tous les monts de Beni-Chougrane et sont constitués par des couches argilo-marneuses avec des bancs de grès. A la base s'intercale un conglomérat de base polygénique peu épais.

2.3.3. Le Miocène : Il affleure largement dans les monts des Beni-Chougrane.. C'est un ensemble monotone épais à prédominance de marnes vertes avec des passages très riches en macrofaunes.

2.3.4. Le Pliocène : On le rencontre dans la partie sud du Beni-Chougrane. A la base on observe des grès marins transgressifs qui ont été déposés par la mer de l'Astien, venue du nord. Au sommet les grès passent à des sables consolidés.

L'épaisseur de cette formation varie entre 40 et 100m directement sur les grès et sables, ou séparés par une faible épaisseur d'argile sableuse rouge reposent des calcaires blancs crayeux (calcaires lacustres).

2.3.5. Le Quaternaire : Il est représenté par des terrasses alluviales de sables fins accompagnés de quelques petits graviers. Les monts de Béni-Chougrane sont donc constitués en général de marnes argileuses assez imperméables et peu résistantes à l'érosion.

Les formations géologiques de la région montagnaise sont érodibles, la principale source de sédiments provient des formations tendres (marne, marno-calcaire...).

2.4. Pédologie

Dans les monts de Béni Chougrane, on distingue différents types de sols, notamment les sols vertiques, les sols bruns, les sols fersialitiques et les sols peu évolués (Morsli, 1996).

Ce sont des sols jeunes et peu évolués, encore liés à la roche mère et possédant le plus souvent des propriétés de cette dernière, les roches meubles essentiellement marneuses sont les plus répandues. Ceux formés sur les marnes sont essentiellement des sols vertiques : vertisols, bruns calcaires et peu évolués à tendance vertiques. Dans certains secteurs, l'érosion est extrêmement forte, allant jusqu'à la dénudation de la roche mère ou aux badlands.

2.4.1. Les vertisols gris ou noirs

Ces sols formés sur les marnes occupent les bas-fonds, les replats (vertisols noirs plus riches en matières organiques) et les versants (vertisols gris). La texture est fine dans l'ensemble du profil et riche en argile gonflante. Les vertisols présentent des fentes de retraits ayant au moins 1 cm de largeur à une profondeur de 50 cm et jusqu'à 1 m pendant la saison sèche. Le PH est légèrement alcalin (Tableau 3.4). Les sols vertiques sont très peu perméables une fois le profil humecté et les argiles gonflées (Roose *et al*, 1993) .

2.4.2. Les sols bruns calcaires

Ce sont des sols formés sur marnes ou grès occupant généralement des surfaces assez importantes sur les collines. Lorsqu'ils sont sur grès, ils sont peu épais. Ils sont pauvres en éléments chimiques, fragiles et sensibles à l'érosion d'autant plus que la topographie et les façons culturales les exposent à de graves dangers. Les bases échangeables sont dominées par le calcium et le magnésium. Le rapport C/N témoigne d'une bonne évolution des matières organiques. Le calcaire présent dans tout le profil a tendance à s'accumuler en profondeur sous forme d'amas friables (croûtes calcaires peu consolidées) ;(Tableau 3.6). Les sols bruns calcaires sont ceux qui présentent une bonne perméabilité (Roose *et al*, 1993) .

2.4.3. Les sols rouges fersialitiques

Les sols appartenant à cette catégorie de sols sont caractérisés morphologiquement par une couleur brune rouge à rougeâtre. La texture est généralement moyenne, sauf pour l'horizon de surface qui est légèrement sableux. Le rapport C/N montre une forte évolution de matière organique. Les bases échangeables sont dominées principalement par le calcium. Le PH est neutre (Tableau 3.5).

2.4.4. Les sols peu évolués

Ces sols se présentent généralement sur des grès tendres et friables, ils occupent souvent le haut des versants (Tableau 3.7).

Tableau 3.4 : Fiche analytique des vertisols gris

ECHANTILLON			P ₁ H ₁	P ₁ H ₂	P ₁ H ₃
PROFENDEUR (CM)			(0 – 7)	(7 – 60)	>60
CALCAIRE TOTAL (%)			14	22,50	28
PH			7,9	8,0	8,0
CARACTERISTIQUES BIOCHIMIQUES	%	C	0,4	0,3	0,2
		MO	2,5	1,8	1,30
		N	0,03	0,02	
	C/N		13,3	10,50	
GRANULOMETRIE	%	A	48,20	52,50	50,10
		LF	27,25	27,15	27,50
		LG	16,00	15,25	19,00
		SF	5,83	2,77	1,70
		SG	2,86	2,48	2,20
	CALSSE TEXTURALE		A	A	A
COMPLEXE ABSORBANT	méq pour 100g de sol	Ca ⁺⁺	16,40	20,50	20,50
		Mg ⁺⁺	7,80	7,70	6,50
		K ⁺	0,35	0,30	0,10
		Na ⁺	1,50	1,50	0,90

Source : Morsli *et al.*(1988).

Tableau 3.5 : Fiche analytique des sols rouges fersialitiques

ECHANTILLON			P ₅ H ₁	P ₅ H ₂	P ₅ H ₃
PROFENDEUR (CM)			(0 – 35)	(35 – 50)	>50
CALCAIRE TOTAL (%)			6,6	24,60	20,40
PH			7,9	8,1	8,0
CARACTERISTIQUES BIOCHIMIQUES	%	C	0,5	0,09	0,1
		MO	1,67	1,64	1,02
		N	0,007	0,012	0,015
	C/N		15,6	9,6	7,0
GRANULOMETRIE	%	A		32,30	30,07
		LF	23,3	24,58	25,70
		LG	17,70	14,16	19,50
		SF	28,50	23,40	18,10
		SG	5,50	5,60	4,85
	CALSSE TEXTURALE		LAS	LAS	LAS
COMPLEXE ABSORBANT	méq pour 100g de sol	Ca ⁺⁺	9,55	13,80	14,40
		Mg ⁺⁺	8,40	2,11	2,44
		K ⁺	0,84	1,60	1,52
		Na ⁺	0,87	0,90	0,57

Source : Morsli *et al.*(1988).**Tableau 3.6:** Fiche analytique des sols bruns calcaires.

ECHANTILLON			P ₄ H ₁	P ₄ H ₂	P ₄ H ₃
PROFENDEUR (CM)			(0 – 20)	(20 – 60)	>60
CALCAIRE TOTAL (%)			25,23	26,74	24,64
PH			7,9	8,1	8,4
CARACTERISTIQUES BIOCHIMIQUES	%	C	0,31	0,24	0,14
		MO	1,03	0,84	0,32
		N	0,03	0,02	0,01
	C/N		10	8,0	7,2
GRANULOMETRIE	%	A	35,50	38,40	46,20
		LF	34,50	30,80	30,40
		LG	16,00	18,20	11,20
		SF	8,40	6,90	7,50
		SG	5,20	7,50	5,10
	CALSSE TEXTURALE		LA	LA	LA
COMPLEXE ABSORBANT	méq pour 100g de sol	Ca ⁺⁺	14,50	20,80	12,60
		Mg ⁺⁺	2,96	3,64	1,32
		K ⁺	1,90	3,82	2,30
		Na ⁺	0,72	0,60	0,82

Source : Morsli *et al.*(1988).

Tableau 3.7 : Fiche analytique des sols peu évolués.

ECHANTILLON			P ₆ H ₁	P ₆ H ₂
PROFENDEUR (CM)			(0 – 35)	(35 – 40)
CALCAIRE TOTAL (%)			17,50	19,60
PH			8,10	8,3
CARACTERISTIQUES BIOCHIMIQUES	%	C	0,24	0,11
		MO	1,55	0,50
		N	0,02	0,01
	C/N		10,6	8,2
GRANULOMETRIE	%	A	10,20	5,20
		LF	20,20	18,40
		LG	26,20	26,50
		SF	20,20	23,20
		SG	24,50	26,20
	CALSSE TEXTURALE		A	A
COMPLEXE ABSORBANT	méq pour 100g de sol	Ca ⁺⁺	12,50	10,20
		Mg ⁺⁺	4,90	2,50
		K ⁺	0,70	1,04
		Na ⁺	0,63	0,84

Source : Morsli *et al.*(1988).

2.5. L'occupation du sol :

Dans l'ensemble des Béni Chougrane, le taux de boisement est de 16% (Beneder,1982 in Morsli *et al.*, 2003). Cette végétation caractérisée par un faible taux de recouvrement et de mauvaises conditions de recouvrement est loin de protéger le sol contre l'érosion. Les formations naturelles sont rares suite aux activités anthropiques. Seules quelques îlots forestiers bien conservés ont pu résister à la dégradation, il s'agit de ceux des massifs de Guetarnia, de Fergoug, des Béni-Kemis et de Cheurfa.

Dans les piémonts nord du massif de Djebel Bouziri, c'est le domaine de la steppe. La végétation est très clairsemée et structurée par des plantes xérophytes en touffe (Dahou et Bentamra., 1995). Dans cette région, la steppe est généralement constituée de l'*Artemisia, A herba-alba* et de *Stipa tenacissima*. Les steppes à alfa dérivent presque toujours, de formations arborées pré steppiques à *Pinus halepensis* ou à *Juniperus turbinata*, toutes les transitions existent d'ailleurs entre la steppe pure à alfa, les matorrals steppiques à *Stipa* avec *Rosmarinus* et *Cistus* et les forêts pré steppique avec alfa (Quézel,2000). Les steppe à *Stipa tenacissima* se présentent sous forme de steppe graminéenne sur calcaire compacts surtout, là où l'origine anthropique est probable (Quézel,2000).

2.5.1. Les formations permanentes

Elles sont constituées de couvert forestier de matorrals arborés à divers degré de recouvrement, des cultures pérennes et des reboisements.

2.5.1.1. Le couvert forestier

2.5.1.1.1. Les matorrals

Les matorrals constituent des structures de végétation qui peuvent dériver de divers types de forêts par dégradation naturelle ou plus souvent anthropique. On rencontre des maquis sur substrats siliceux et garrigues sur calcaire.

Il s'agit de :

Matorral clair arboré à faciès *Tetraclinis articulata* et *Oléo lentisque* ;

Matorral dense arboré à faciès *Tetraclinis articulata* ;

Matorral dense arboré à faciès *Tetraclinis articulata* et *Quercus ilex*.

2.5.1.1.2. Les reboisements forestiers

Le pin d'Alep (*Pinus halepensis*) est l'unique espèce utilisée dans les reboisements, parce qu'elle présente une facilité de reproduction de plants en pépinières pour l'approvisionnement des chantiers et pour sa bonne acclimatation aux conditions édaphoclimatiques du bassin versant de l'oued Fergoug. Au Maghreb, le Pin d'Alep a connu des succès appréciables en bioclimat semi aride, sur substrat marneux où il constitue des groupements stables de type climacique dans les conditions écologiques actuelles (Quézel,2000).

Dans la zone d'étude, les reboisements ont concernés quelques 1050 ha traités dans le cadre des grands travaux forestiers (1990/1997) et du projet emploi rural (Bouchetata,2000). Cette superficie connaît actuellement des régressions à cause de sa vulnérabilité aux incendies et à la chenille processionnaire.

2.5.1.2. Les cultures pérennes

Avec les travaux de valorisation de terres dans les habitants du Béni Chougrane trouvent un regain d'intérêt pour l'arboriculture fruitière et les plantations viticoles. Les plantes les plus cultivées sont l'olivier, l'amandier et le figuier.

2.5.2. Le couvert végétal temporaire

2.5.2.1. Les cultures annuelles

Comme sur l'ensemble des Béni Chougrane, les céréales et les légumineuses sont pratiqués préférentiellement sur les sols profonds et de faible pente au Sud Ouest et au Nord Est de la zone d'étude.

2.5.2.2. Les cultures maraîchères

Celles-ci sont pratiquées surtout à proximité des oueds ou des puits pour permettre leur irrigation. La pomme de terre et les petits pois sont les cultures les plus courantes.

2.5.3. Le couvert végétal incomplet

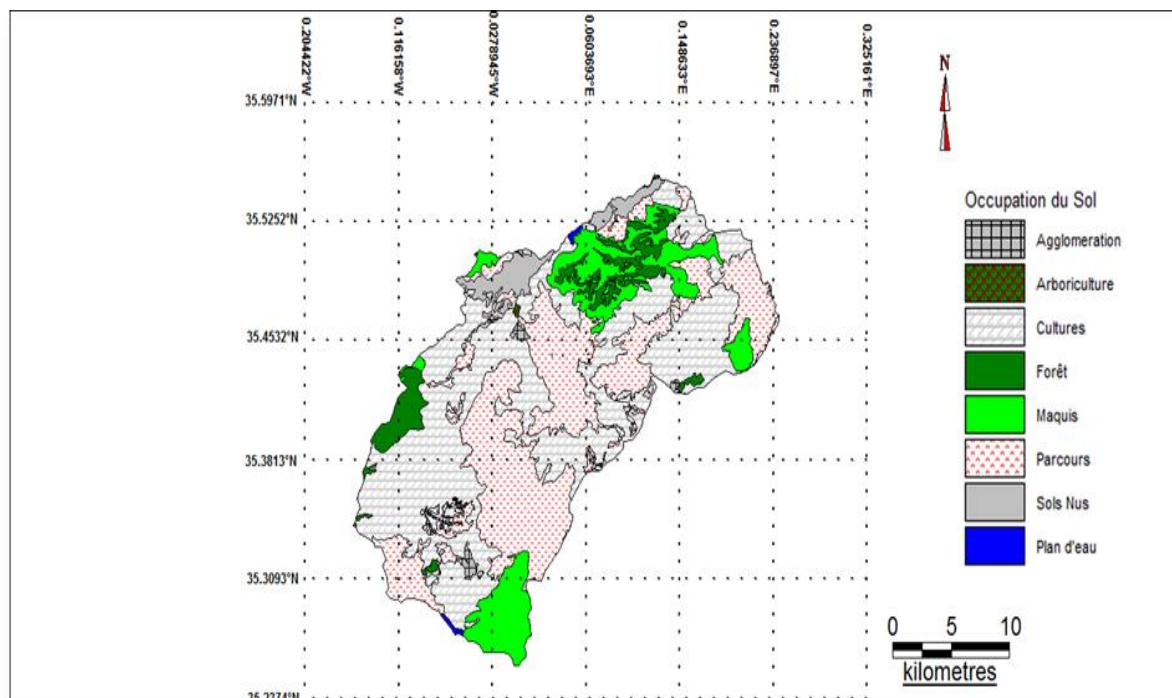
2.5.3.1. Les pâturages

Ils regroupent les parcours, ils occupent 37 % de la superficie totale des Mont de Béni Chougrane. Il s'agit de terrain rocheux, jachères et des terres de culture enclavées entre les ravins.

2.5.3.2. Les sols nus

Il s'agit de terres entièrement dénudées et non cultivées. A l'exception des plateaux cultivés d'Ouled Sidi Dahou (sud ouest) les terrains nus existent un peu partout dans la zone des marnes. La grande partie des sols nus longe la rive sud est de l'oued Fergoug.

Cette caractérisation de l'occupation du sol inspirée de la classification de Roose (1977) utilisée en Afrique de l'ouest a permis d'affecter à chacune des types de végétations rencontrées : un degré de protection vis-à-vis de l'érosion (tableau 3.8), l'aire qu'ils occupent sur le territoire (figure 3.11).



Source : Carte d'occupation des sols du bassin versant de l'oued Fergoug (BNEDER, 2008)

Figure 3.10: Carte d'occupation des sols du bassin versant de l'oued Fergoug

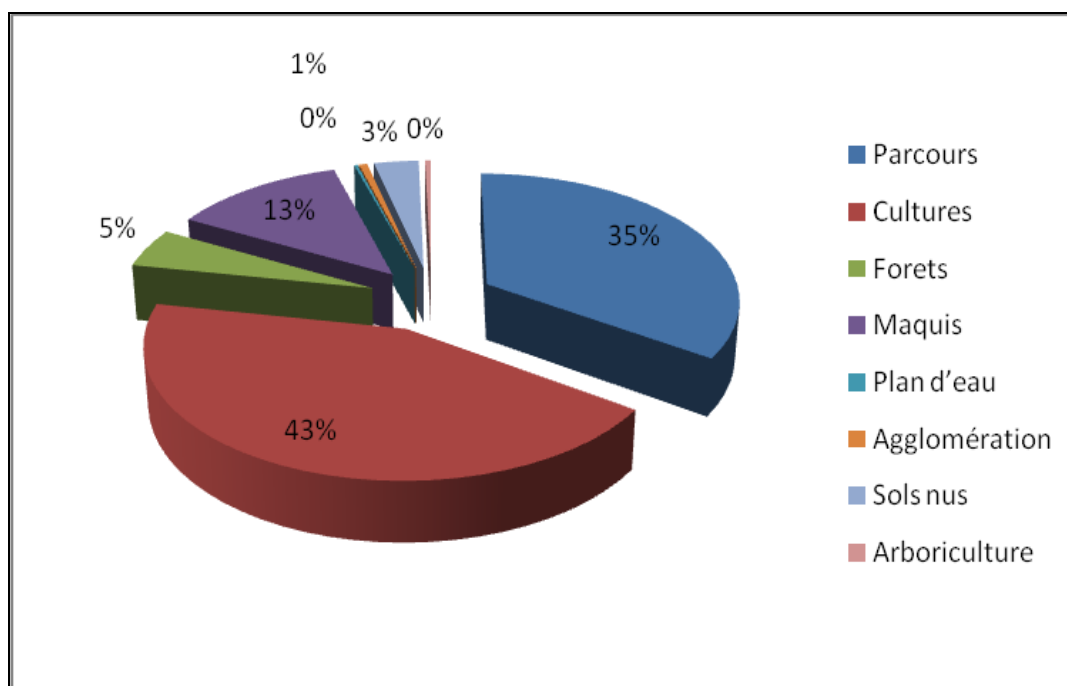


Figure 3.11: Répartition du couvert des terres du bassin versant de l'oued Fergoug

Tableau 3.8: Classe de sensibilité à l'érosion hydrique (d'après Bouchetata A et Bouchetata T, 2006)

Couvert végétal	Degré de protection
Vigne	Fortement dégradée
Céréales	Moyennement protecteur
Agriculture extensive	Moyennement protecteur
Terres labourables	Moyennement protecteur
Agriculture semi intensive	Moyennement protecteur
Parcours	Peu protecteur
Matorral clair arboré : faciès à <i>Tetraclinis articulata</i> et <i>Oléo lentisque</i>	Fortement dégradé
Matorral dense arboré : faciès à <i>Tetraclinis articulata</i>	Fortement dégradé
Sols nus	Non protecteur

De ce tableau (3.8) et cette figure (3.12) ,il est apparaît clairement que les superficies et les pourcentages des classes d'occupation du sol révèlent la faiblesse du couvert végétal : 43% de la superficie du bassin versant de l'oued Fergoug est constituée de couvert végétal temporaire qui n'est que moyennement protecteur .Les sols nus (non protecteur) et les parcours dégradés (peu protecteurs) représentent 38 %, sont plus du tiers de la surface du bassin versant.

3. Aspects socio-économiques

Il est bien vrai que les paysans des Béni Chougrane cultivent dans un environnement naturel fragile. Mais si l'érosion a atteint un degré si avancé dans cette région, il y a certainement une contribution des aspects socioéconomiques. C'est pour cela que nous avons choisi d'analyser la population, l'agriculture et l'élevage de ces monts.

3.1. La population

La population de Mascara est répartie en deux grands ensembles :

Les occidentaux (les monts) estimés à 181 240 habitants soit 32% du total de la Wilaya avec 27 hbts/km² et la plaine qui englobe l'agglomération de Mascara avec 460 hbts/km².

Les monts du Béni Chougrane regroupent toutes les composantes socioéconomiques, ils sont réparties comme suit : 28% dans l'agriculture, 13% dans les BTP et 7% dans l'industrie soit un total de 48% pour ces trois branches. Le groupe restant (52%) se partage l'administration et les services (ANAT, 1992).

A l'image de la population algérienne, cette population est majoritairement jeune, 57% à moins de 25 ans, 32% moins de 15 ans.

3.2. L'Agriculture

Malgré la diminution des terres liée surtout au phénomène de ravinement (Badlands) très répandu dans les Béni Chougrane, l'agriculture demeure encore une activité très importante de cette population rurale. Elle représente 13% de la population contre 35% pour la plaine.

Dans cette zone, les paysans s'adonnent principalement à une culture céréalière extensive de subsistance. Il est important de signaler que cette agriculture reste tributaire des eaux pluviales. Il n'est pas étonnant de voir les rendements régressés lors des années de sécheresse. On a également recensé des modes d'exploitation agricole non adaptés qui contribuent au développement du ruissellement et de l'érosion.

3.3. L'élevage

L'élevage est très répandu sur le territoire des monts Béni Chougrane. Toutes les espèces animales domestiques (ruminants et volailles) sont représentées avec une dominance d'ovins parce que ces derniers permettent la valorisation des résidus de culture (Chaumes, pailles, jachère) ainsi que les parcours inutilisables pour les cultures voire même des cultures céréalières lorsque les rendements attendus ne justifient pas la récolte.

Le grand problème auquel est confronté cet élevage est le manque de pâtures engendré par la persistance des sécheresses. Ce qui contraint le cheptel à exercer une dégradation progressive des forêts, maquis et parcours naturels du fait d'une charge excessive.

Chapitre IV

Démarche expérimentale

1. Objectifs de l'étude

L'objectif principal de notre étude est la mise en œuvre d'un modèle d'érosion (équation universelle des pertes de sol : **USLE**) à l'aide d'un SIG pour mieux profiter des nouveaux progrès dans la gestion de l'information géographique.

Ce travail s'est plus attaché à :

- * Montrer l'efficacité du SIG comme outil adéquat pour la gestion de l'information géographique.
- * Contribuer au développement du suivi de l'érosion hydrique et l'établissement d'une méthodologie permettant de cartographier la sensibilité des sols à ce phénomène.
- * Permettre aux thématiciens, aux aménagistes et aux décideurs, d'avoir d'une manière optimisée, cette information régionale nécessaire à leurs études d'aménagement et de prise de décision.

2. Hypothèses de travail

2.1. Données disponibles

Les données disponibles utilisées dans le cadre de ce travail sont :

- La carte topographique de Mascara à l'échelle de 1/50000 : la feuille N°212 relative à la région du bassin versant de Fergoug.
- La carte géologique du bassin versant de Fergoug à l'échelle de 1/50000 : (source: A.N.B 2004).
- La carte d'occupation des sols de la Wilaya de Mascara à l'échelle de 1/50000 (source: BNEDER, 2008) .
- Les données pluviométriques (mensuelles et journalières) relatives à la période 1975-2007, enregistrées aux stations de Mascara, Fergoug, Bouhanifia, Mohammadia, Tizi, Chorfa, Hacine et Ain Farès (source : ANRH d'Oran).

2.2. Equipement de travail

Dans notre étude, nous avons été amenés à traiter les données issues de différentes sources, à l'aide de nombreux logiciels, à savoir :

2.2.1. Traitement des données pluviométriques

Pour le traitement de ce type de données, on utilise le logiciel « EXCEL » (sous Windows), ce logiciel est utilisé pour toutes les opérations mathématiques et statistiques.

2.2.2. Logiciels cartographiques

- a. **Logiciel SIG MapInfo (Professional 8.0)** : Il est un outil de type Système d'Information Géographique qui sert à créer de l'information géographique, à la traiter et à la cartographier grâce à une interface simple et objective (Figure 4.1).

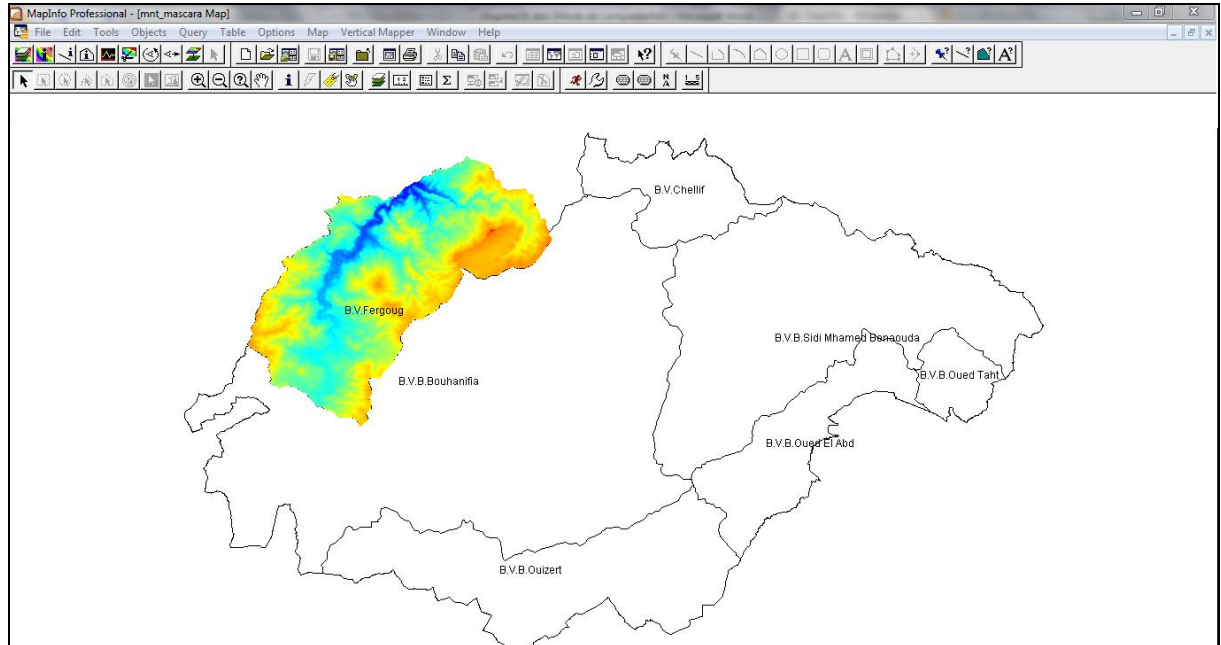


Figure 4.1 : L'interface du logiciel Mapinfo

MapInfo est conçu autour d'un moteur d'édition de cartes qui permet la superposition de couches numériques. Il permet de représenter à l'aide d'un système de couches des informations géo-localisées : points, polygones, image raster ... Il incorpore un grand nombre de formats de données, de fonctions cartographiques et de gestion de données. Un système de requêtes cartographiques, permet la conception des cartes et bases de données cartographiques.

L'utilisation de ce logiciel, pour notre cas, concerne une phase initiale très importante. C'est la phase de préparation des différentes données géographiques issues de diverses sources.

Les différents traitements effectués par Mapinfo sont :

- La digitalisation des différentes couches d'information nécessaires à notre travail
- La structuration de différentes tables attributaires des couches établies
- La saisie des données sémantiques des objets géographiques de chaque couche d'information

- La conversion des couches d'information du format Mapinfo Tab au format raster Grid .

b. Logiciel Vertical Mapper : est une application intégrée au logiciel Mapinfo sous forme d'un " plug-in pour ". Cette application permet l'interpolation et la représentation d'informations tant environnementales que socio-économiques.

Se basant sur les données rattachées à des points (X, Y et Z), Vertical Mapper gère des fichiers de format raster Grid. Le résultat est logé dans un fichier dit «Smart Raster », où chaque cellule possède une valeur.

De multiples analyses deviennent alors possibles, MapInfo pouvant ainsi échanger de l'information entre ses couches vectorielles et matricielles Vertical Mapper permet de transformer nos données en informations pertinentes et visuelles dans le but d'effectuer de meilleures décisions.

Les traitements réalisés par ce logiciel sont les suivants :

- Interpolation des courbes de niveau digitalisées avec Mapinfo pour générer un Modèle Numérique de terrain (MNT) sous forme d'un fichier Grid.
- Génération de produits dérivés du MNT tels que la pente et l'exposition.
- Export du MNT format Grid au format ASCII pour une éventuelle utilisation dans ce qui suit.

c. SAGA (System for Automated GeoScientific Analysis): c'est un logiciel utilisé pour l'édition de données spatiales, il ne nécessite que 10 Mo d'espace disque. Aucune installation n'est nécessaire.

Il est utilisé dans notre cas pour l'estimation du facteur Longueur de pente. Ce dernier permet le calcul du facteur topographique LS.

3. Approche méthodologique

L'équation universelle de la perte de sol, également appelée Universal Soil Loss Equation (USLE) selon WISCHMEIER et SMITH (1978), est le modèle d'érosion du sol le plus souvent utilisé au monde (LAFLEN et MOLDENHAUER, 2003). Il est également très prisé en Europe centrale, que ce soit sous cette forme ou une adaptation de celle-ci (DIN 1978). Il existe donc de nombreux résultats et expériences concernant son application (DEUMLICH et al, 2006).

Les méthodes de modélisation de l'érosion hydrique, traitant le bassin versant comme un système distribué, nécessitent, comme toute modélisation environnementale à grande échelle, une énorme quantité de données manipulées par des systèmes de calcul puissants. Mais quel que

soit le modèle de perte de sol choisi, les facteurs qui décrivent le processus de l'érosion hydrique devraient être les mêmes (CHAKROUN et al., 1993 in TALBI,1997).

Le grand avantage de ce modèle empirique, c'est qu'il permet d'obtenir assez facilement les données de base nécessaires et de mettre en évidence l'évolution des risques de pertes de sol en fonction des changements intervenus dans l'utilisation et la gestion des sols.

4. Adaptation de l'équation universelle de perte en terre

Notre étude fait référence à l'équation universelle de perte en terre USLE. Elle prend en considération la plupart des facteurs indépendants figurant dans cette équation afin d'évaluer qualitativement les risques de l'érosion hydrique. L'USLE prévoit uniquement l'importance des pertes de terre qui résultent des érosions en nappe ou en rigoles sur une pente simple sans toutefois tenir compte des pertes de terre supplémentaires qui peuvent être attribuables aux autres formes d'érosion associées au ravinement , au vent ou travail du sol. Ce modèle de prévision de l'érosion a été conçu pour mesurer l'influence de l'assolement et du système de gestion des cultures sur l'érosion, mais il peut aussi servir à prévoir l'érosion dans un cadre qui n'est pas agricole, notamment sur des chantiers. L'USLE peut servir à comparer les pertes de terre provenant d'un champ donné soumis à un assolement et à un système de gestion des cultures particuliers, à des taux de « pertes de terre tolérables » ou à un autre type d'assolement ou système de gestion des cultures, afin de déterminer la pertinence des mesures de conservation du sol dans la planification des activités agricoles.

Cette équation se présente de la manière suivante :

$$E = R. K. LS. C. P$$

Où :

E = pertes de terre annuelles moyennes (t/ha/an),

R = érosivité de pluie

K = érodibilité du sol

LS = facteur topographique intégrant la pente et la longueur de pente

C = facteur de couvert végétale

P = facteur de pratiques de conservation.

4.1 - Méthode d'utilisation de l'USLE : (WISCHMEIER et SMITH ,1978)

1. Trouver le facteur R.
2. Trouver le facteur K. Si un champ comporte plus d'un type de sol et que ceux-ci ne sont pas très différents, utiliser le type de sol qui caractérise la plus grande partie du champ. Répéter cette étape, au besoin, pour les autres types de sol.
3. Diviser le champ en sections d'inclinaison et de longueur de pente uniformes. Attribuer une valeur LS à chaque section.
4. Trouver les éléments type de culture et méthode de travail du sol propres à la culture envisagée. Multiplier ces deux éléments afin d'obtenir le facteur C.
5. Trouver le facteur P en fonction des pratiques de conservation utilisées.
6. Multiplier les cinq facteurs afin d'obtenir la perte de terre.

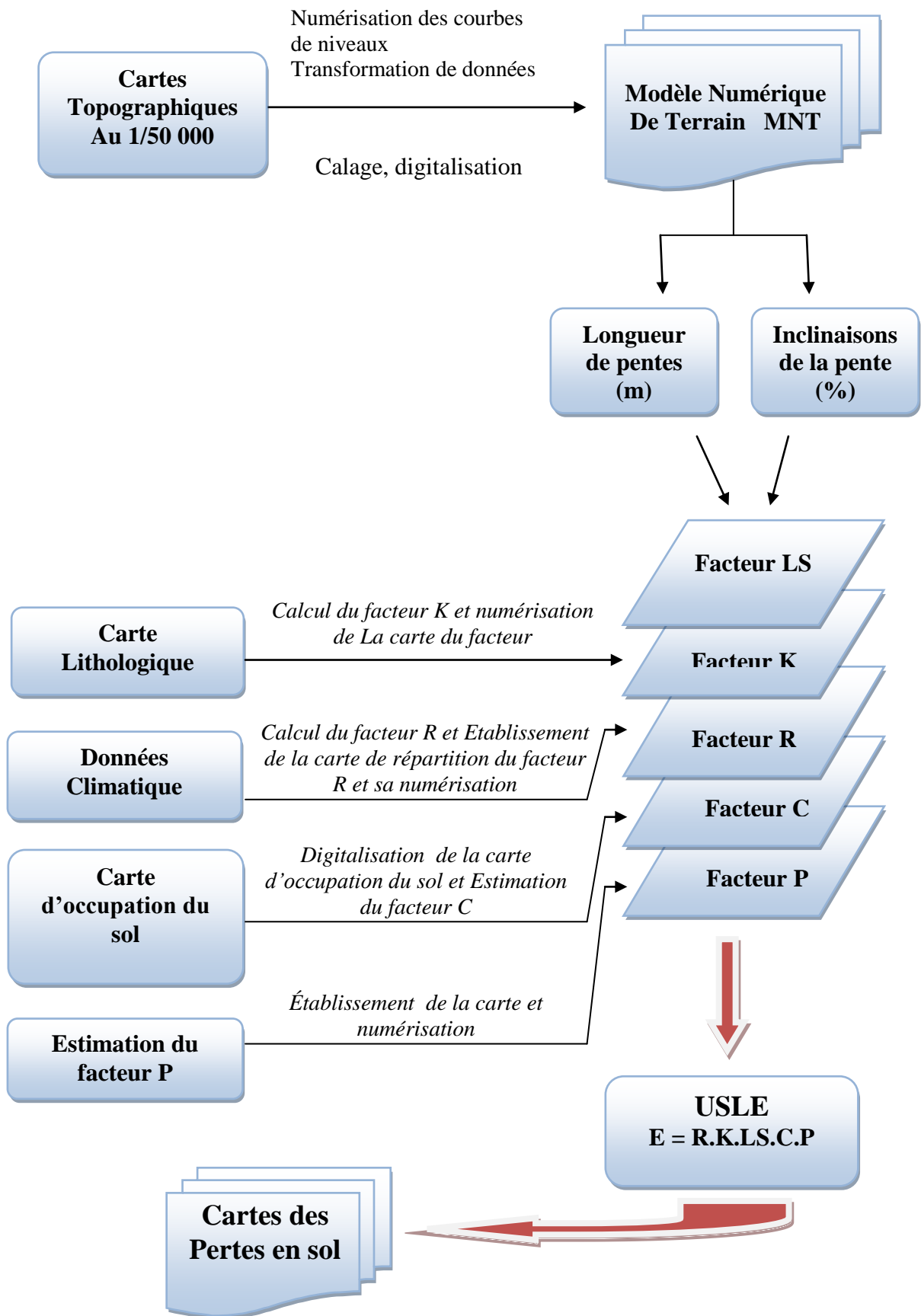


Figure 4.2 : Organigramme méthodologique de l'intégration de l'Equation universelle de perte en sol

5. Détermination des différents facteurs influençant le processus d'érosion hydrique

5.1 - L'érosivité de la pluie R

Le pouvoir érosif dépend surtout de l'intensité de la pluie. En effet, plus la pluie est intense, plus elle endommage le sol et entraîne sa perte.

Pour l'estimation du facteur R nous avons utilisé la formule de RANGO et ANOLDUS (1987). Ce choix relève de la nature des données de précipitations disponibles. Il s'agit de précipitation mensuelle et non d'intensités rapportées à une averse d'une demi-heure comme initialement défini par WICHMEIER et SMITH(1978).

Le facteur d'agressivité climatique R s'exprime comme suit :

$$\log R = 1,74. \text{Log} (P_i^2/P) + 1,29$$

$i = 1, 2, 3, \dots, 12 = \text{mois}$

P_i : précipitations mensuelles.

P = précipitations annuelles.

La Figure (4.3) présente l'Organigramme de détermination de l'indice d'érosivité R.

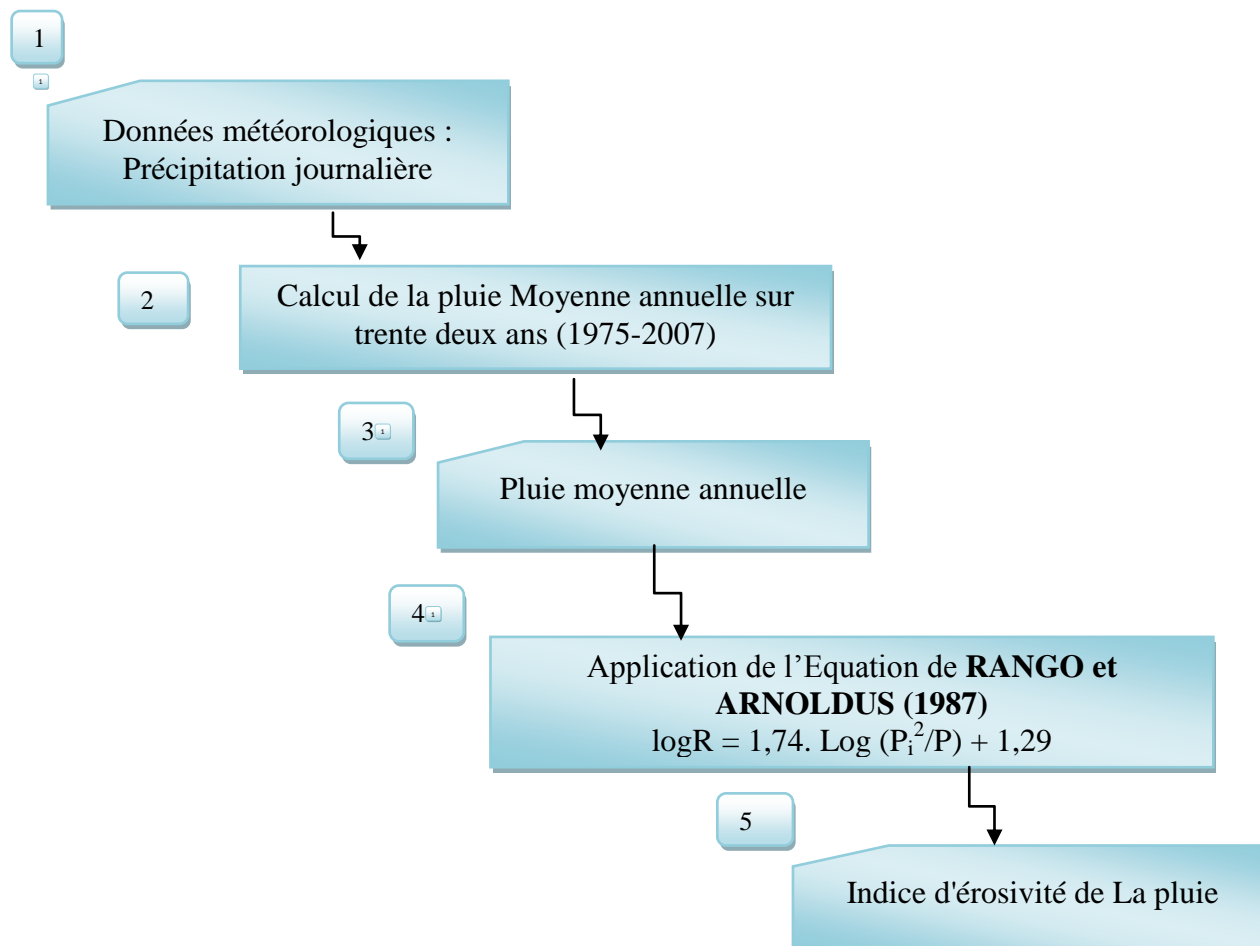


Figure 4.3 : Organigramme de détermination de l'indice d'érosivité R

5. 2- L'érodibilité des sols K

Certains sols sont, par nature, plus sensibles à l'érosion hydrique, ou, au contraire, plus résistants que d'autres. Les principales caractéristiques des sols qui permettent de déterminer le degré de sensibilité à l'érosion hydrique sont les suivantes : la texture, la teneur en matière organique, la perméabilité et la structure.

l'indice K est déterminé à partir de l'expression suivant :

$$100 k = 2,1 * 10^{-4} * (12 - A) M^{1,14} + 3,25 * (S - 2) + 2,5 * (P - 3) \quad . (I)$$

Ou :

K : le facteur d'érodibilité

A : le pourcentage de matière organique

S : le code de structure

P : la classe des perméabilités

M : (% sable fin + % limon) (100 - % argiles)

Nous avons calculé le facteur K par la formule (I) de Wischmeier. Le nomographe a été utilisé pour vérification. Les résultats sont pratiquement identiques pour les deux méthodes.

Pour obtenir les pourcentages granulométriques, la texture des sols est détaillée à partir de la carte lithologique suivant le principe de Cray et Murphy 1999 a l'aide des classes texturales internationalement reconnues utilisées par l'USDA 2001 (annexe 3).

Les valeurs des coefficients de structure du sol (S) et perméabilité (P), ont été obtenues en se basant sur la texture (Tableau 4.1)

Tableau 4.1 : Code de la structure et perméabilité selon la texture général des sols

Texture générale	Perméabilité (P)	Structure (S)
Grossière	5	1
Modérément grossière	4	2
Moyenne	3	3
Modérément fine	2	4
Fine	1	4

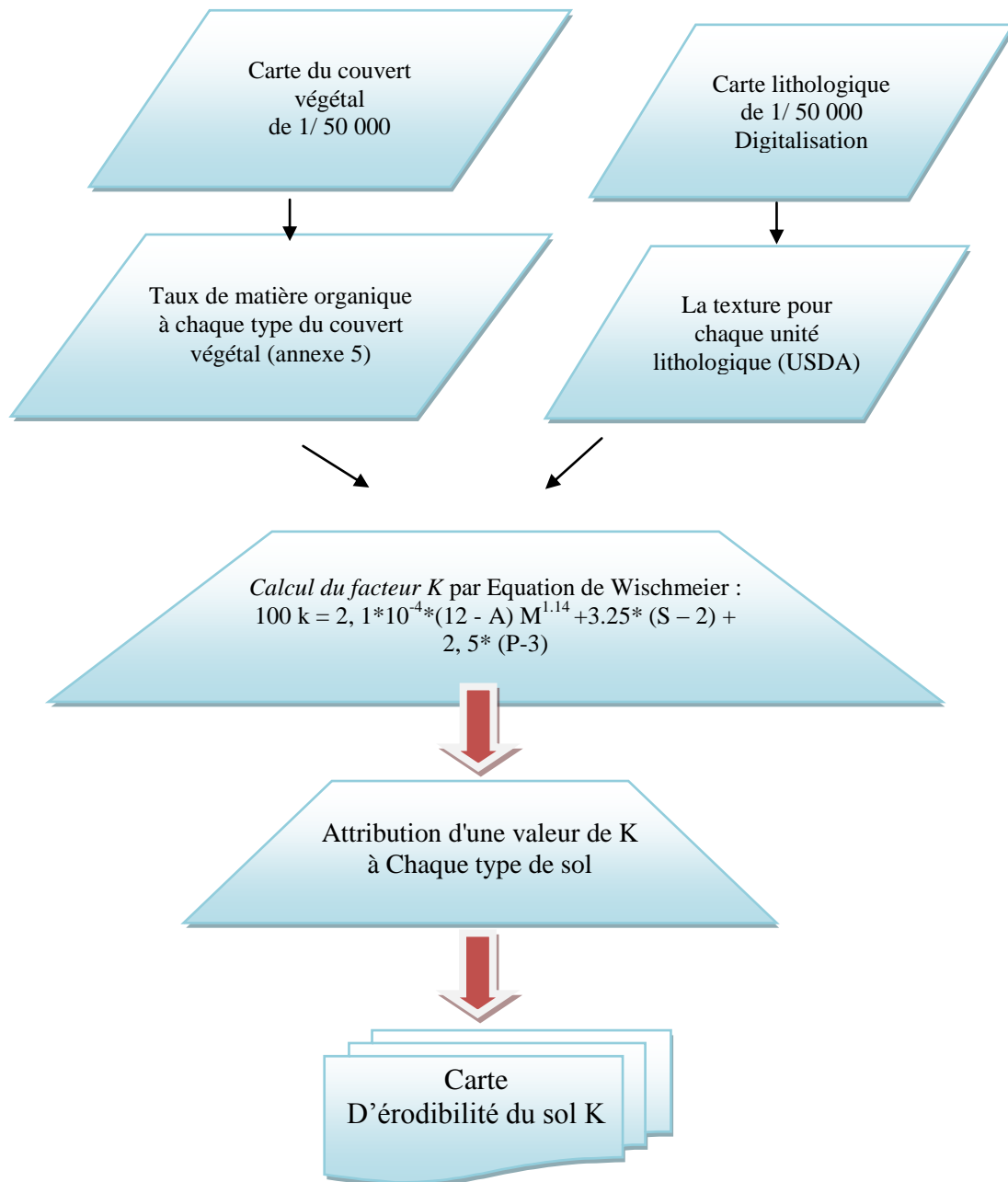


Figure 4.4 : Organigramme de détermination de l'indice D'érodibilité K

5.3 - Facteur topographique (LS)

La pente a une incidence importante sur le processus de l'érosion hydrique. En effet, le ruissellement fort et rapide des eaux de pluie en excédent sur les pentes raides tend à causer une érosion hydrique très grave.

Le facteur topographique LS ou L est la longueur de la pente et S l'inclinaison est obtenue à partir de l'expression de WISCHMEIER et SMITH (1978).

$$LS = (l/2, 15)^m (65, 41\sin^2S + 4, 56 \sin S + 0,065)$$

L : la longueur de la pente.

S : l'inclinaison de la pente.

La figure (4.5) présente les étapes pour la détermination du facteur LS .

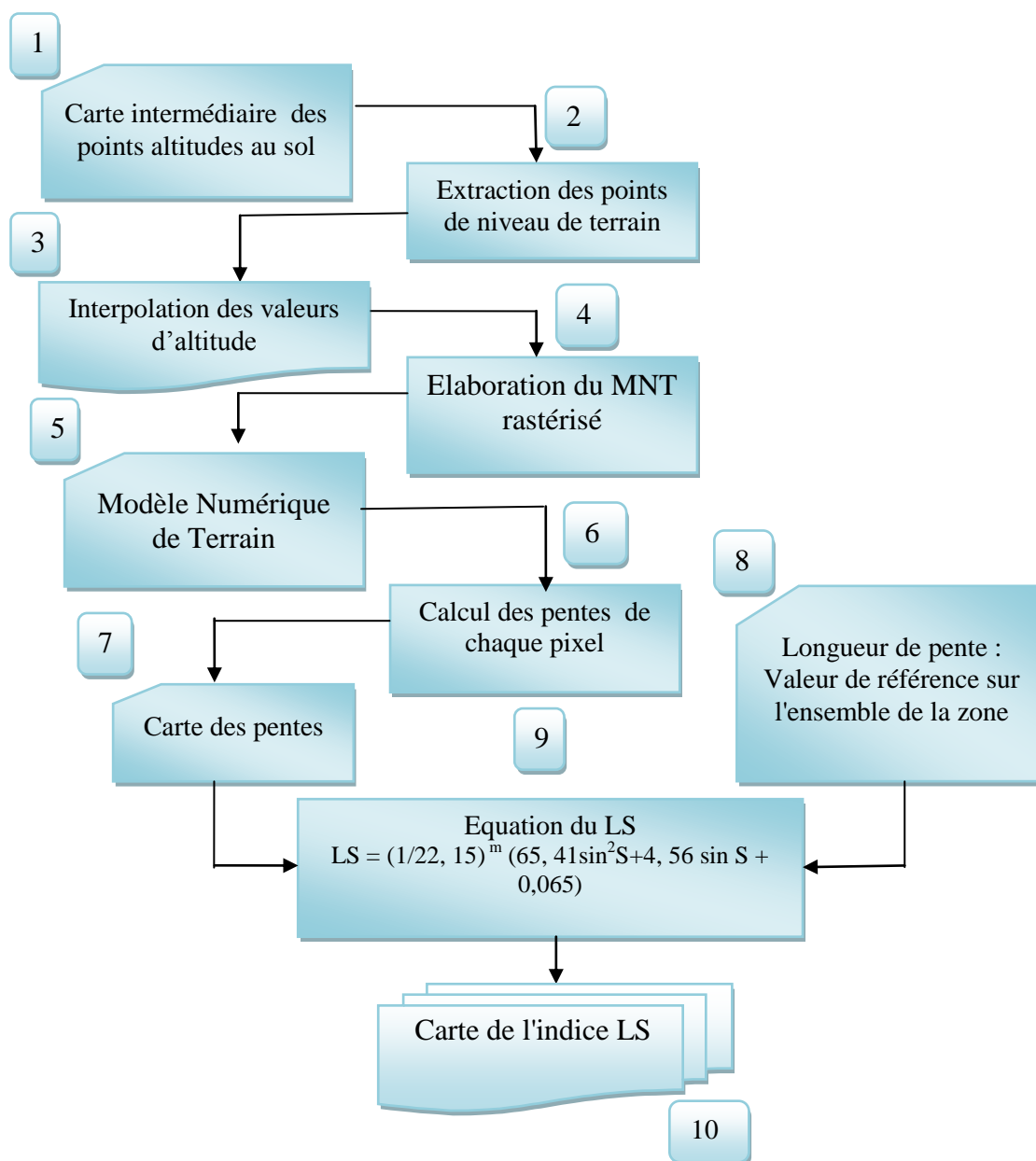


Figure 4.5 : Organigramme de détermination de l'indice LS

5.4 – Facteur couvert végétal (C)

Ce facteur tient compte de la nature et de la densité du couvert végétal. Pour mettre en évidence les différentes unités de la couverture végétale, nous avons utilisé la carte d'occupation des sols du bassin versant de l'oued Fergoug extrait de la carte d'occupation des terres de la wilaya de Mascara (Figure 4.2 en annexe).

Donc, la carte d'occupation des sol a été intégré au système d'information géographique par digitalisation .Dans la base de données qui lui a été affectée, on a introduit les valeurs du facteur C correspondant a chaque utilisation du sol que nous avons déterminé a partir des travaux effectuées par ROOSE 1994 au Nord d'Afrique, SADIKI et al 2004 et EL GAROUANI et al 2009 au Maroc (Annexe 4).

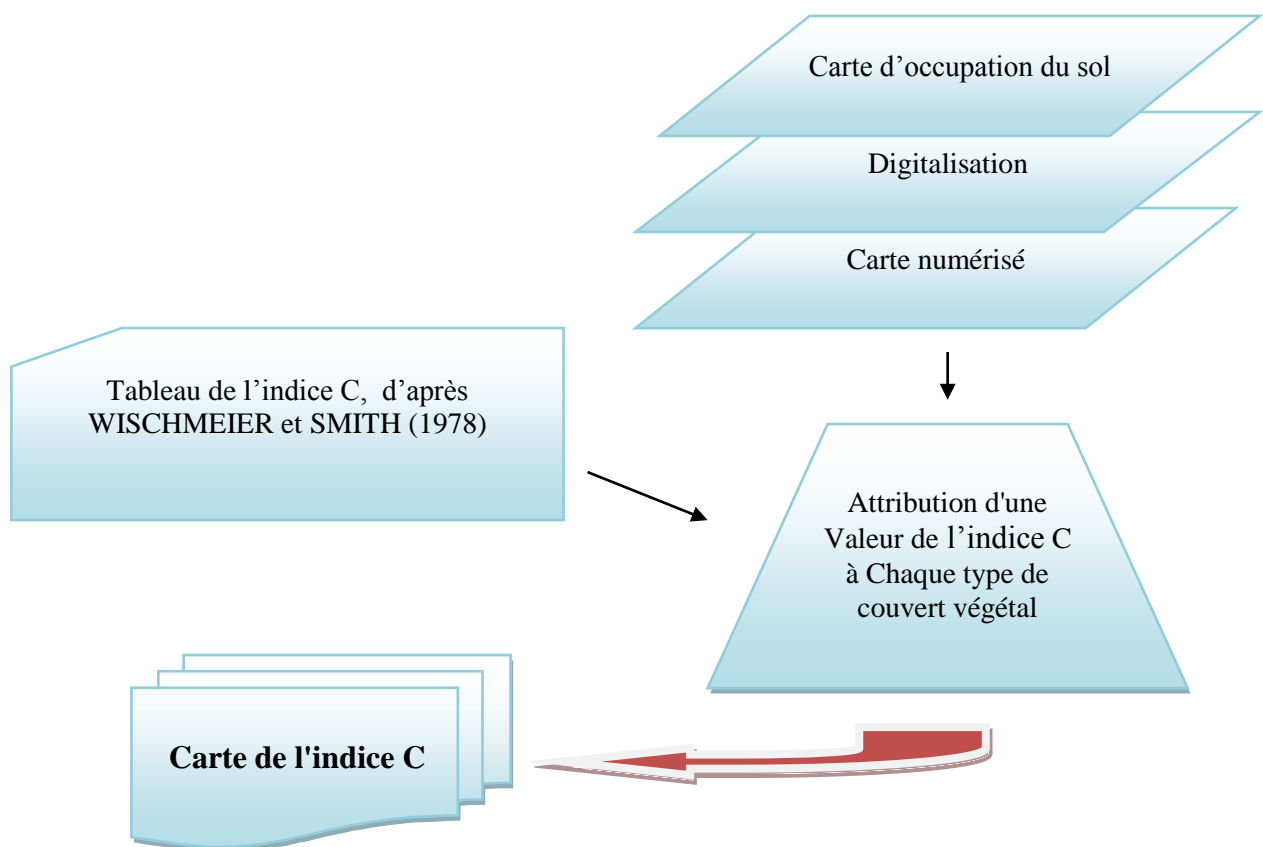


Figure 4.6 : Organigramme de détermination de l'indice couvert végétal (C)

5.5 - Facteur (P)

Le facteur de pratiques anti-érosives (P) reflète des pratiques qui réduisent la quantité d'eau de ruissellement et leur vitesse, diminuant ainsi les effets de l'érosion hydrique.

Les cultures en courbes de niveau, en bandes alternées ou en terrasses, les reboisements en banquettes, le buttage et le billonnage sont les pratiques les plus efficaces de conservation des sols.

Les valeurs de P sont inférieures ou égales à 1. La valeur 1 est attribuée aux terrains sur lesquels aucune des pratiques citées n'est utilisée. Les valeurs de P varient selon la pratique adoptée et aussi selon la pente. Dans toute la zone d'étude, il n'y a pas d'aménagements antiérosifs et les agriculteurs n'utilisent pas de pratiques culturales antiérosives. Les cultures sont surtout céréalières et les labours sont rarement parallèles aux courbes de niveau. Il y a quelques essais de réhabilitation des forêts par des reboisements mais pas en banquettes. Dans ce contexte, la valeur $P = 1$ a été attribuée à toute la superficie de la zone d'étude.

Chapitre V

Résultats et discussions

1. Résultats des différents facteurs

Les résultats que nous allons présenter dans ce travail se rapportent aux observations et analyses de l'intégration des différents facteurs influençant le processus de l'érosion hydrique dans un système d'information géographique. Les différentes cartes thématiques permettront d'évaluer le taux d'érosion en appliquant la formule de Wischmeier et Smith.

1.1 - L'érosivité de la pluie Facteur R

L'érosivité est un indicateur de l'agressivité des pluies. Au cours d'un évènement pluvieux, l'énergie cinétique ainsi que la quantité de mouvement dissipée lors de l'impact de gouttes permettent le détachement des particules et leur déplacement par rejaillissement (ELLISON, 1944 ; HUDSON, 1963 ; BOLLINE, 1982; cités par REJEB, 1996).

A partir des données pluviométriques enregistrées au niveau de huit stations (Mascara, Fergoug ,Bouhanifia, Mohammadia, Tizi, Cheurfa, Hacine et Ain Farès) pendant la période (1977-2007), on a déterminé les valeurs du facteur R à l'aide de l'équation de Rango et Arnoldus 1987.

Nous avons calculé l'indice R pour chaque station. Pour représenter les valeurs du facteur R dans le bassin versant de l'oued Fergoug nous avons tracé des polygones de même agressivité climatique selon le principe de traçage des polygones de Thiessen (Figure 5.1).

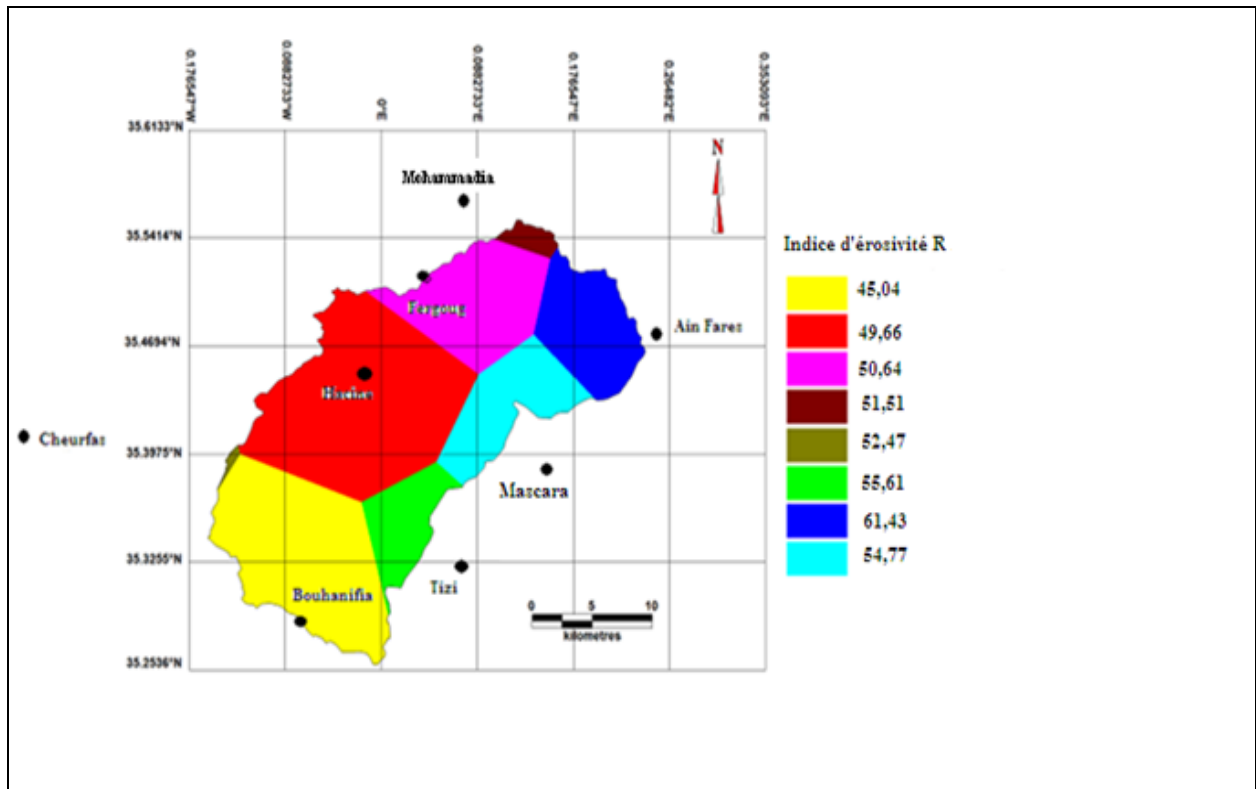


Figure 5.1 : Valeurs du facteur R, calculées d'après la formule de Rango et Arnoldus (1987)

Les valeurs de R pour le bassin versant de l'oued Fergoug varient entre 45 et 61,43 Mjoules.mm/hectare.heure (Figure 5.1).

Tableau 5.1 : Distribution des valeurs du facteur R dans le bassin versant de l'oued Fergoug

R	superficie (Km ²)	% superficie/surface bassin
45 – 50	322,31	56,16
50 – 55	150,0	26,13
55 – 60	39,56	6,89
> 60	62,13	10,82
Total	574	100

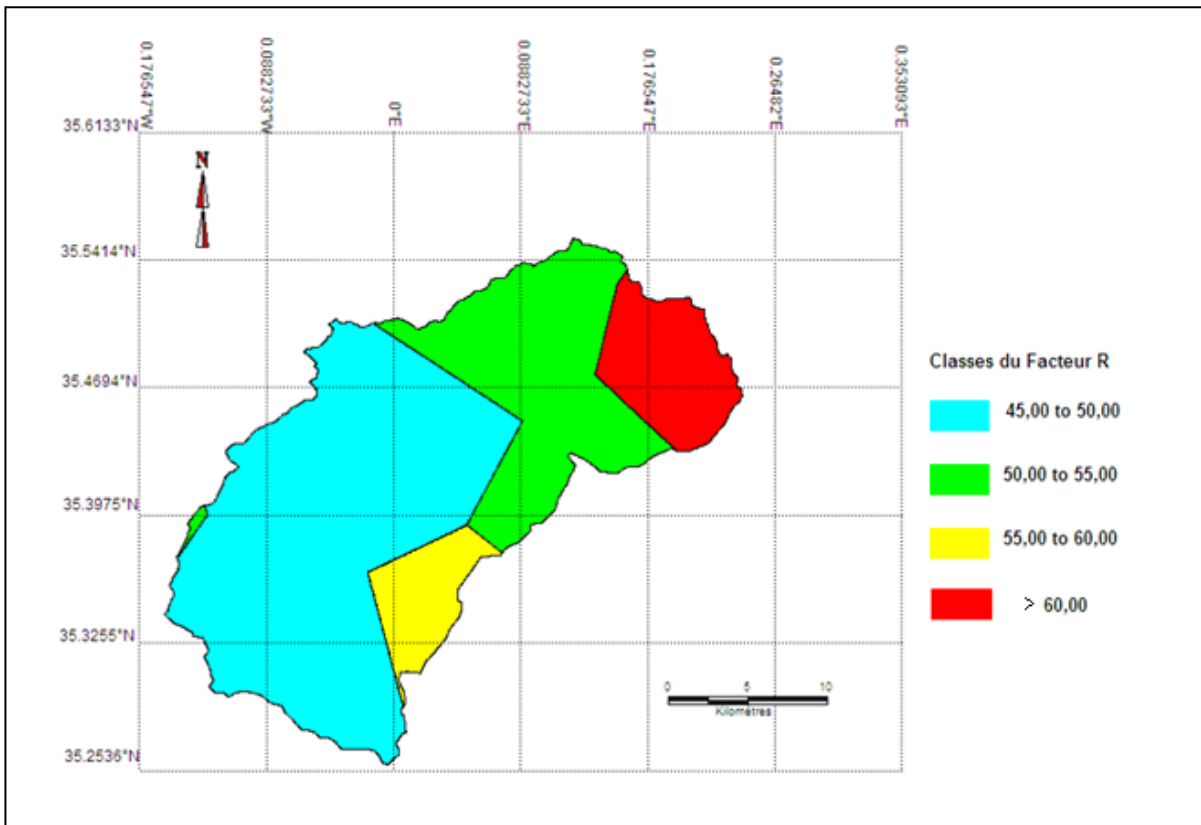


Figure 5.2 : Distribution des valeurs du facteur R dans le bassin versant de l’oued Fergoug.

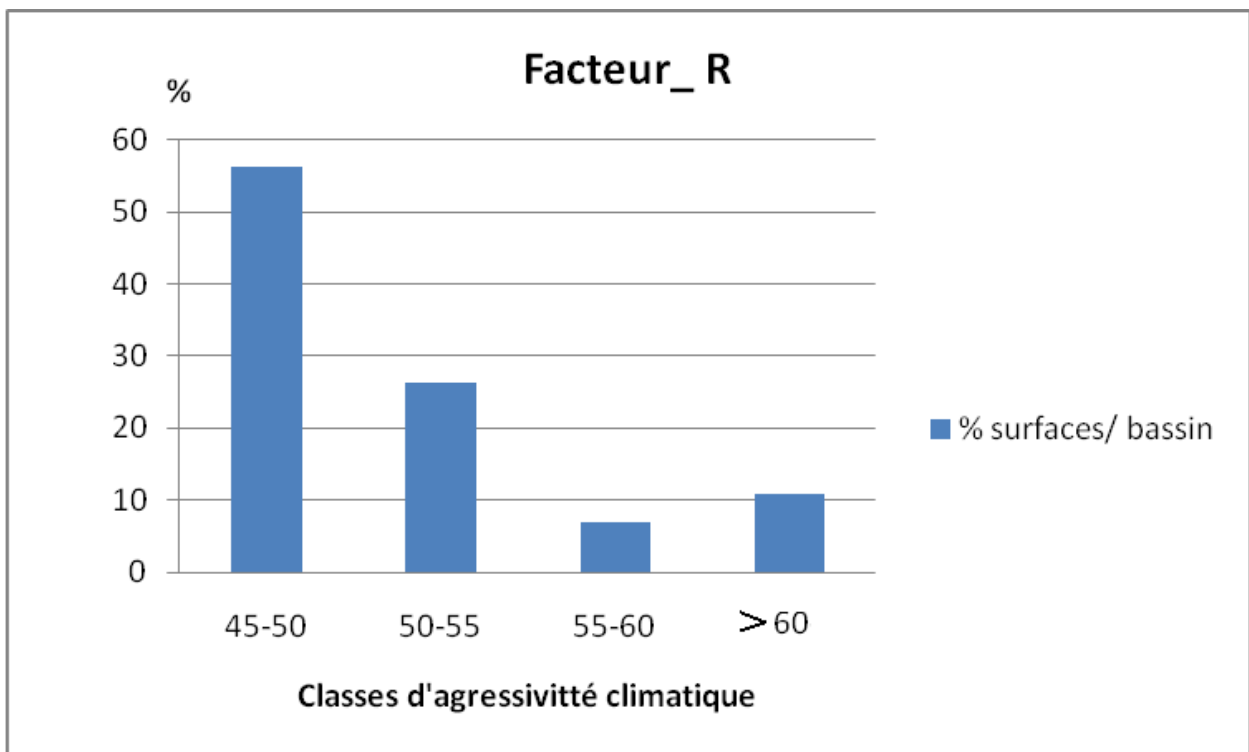


Figure 5.3 : Classes des valeurs du facteur R dans le bassin versant de l’oued Fergoug

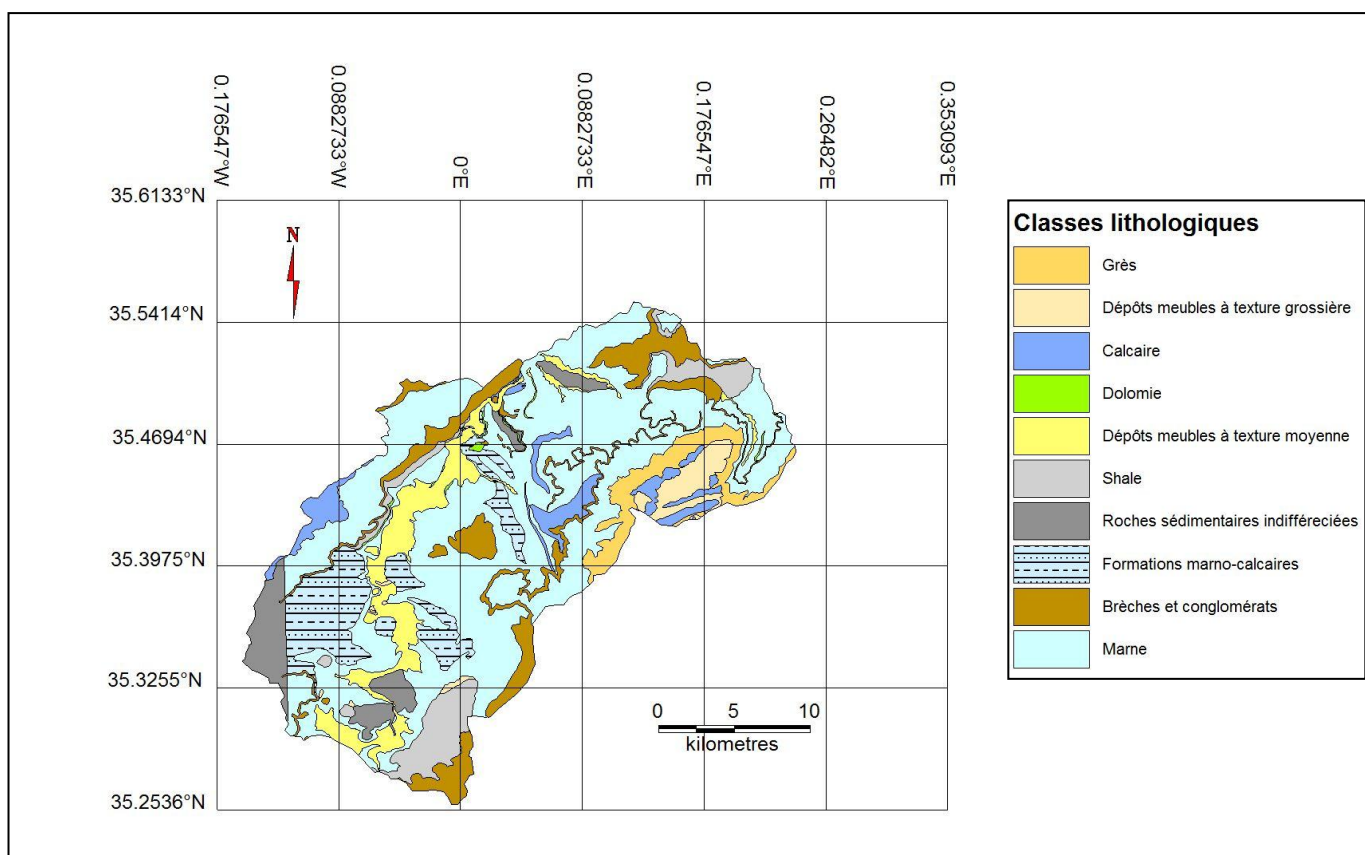
Plus de 50 % de la superficie du bassin versant de l’oued Fergoug a subi au cours de la période considérée, une agressivité climatique variant de 45 à 50 KJ.mm/m².heure (Tableau 5.1 et Figure 5.2 et 5.3).

Les valeurs du facteur **R** sont relativement comparables à celles trouvées par GOMER 1994 et NEGGAZ 2012 dans le bassin versant de l’oued Mina. Ce dernier est situé à l’est des monts de Béni Chougrane.

1.2 - L'érodibilité des sols **K**

Le facteur K est déterminé suivant la formule de WISCHMEIER et SMITH en fonction de la texture des sols ($M = (\% \text{ sable fin} + \% \text{ limon}) * (100 - \% \text{ argile})$), de la teneur en matières organiques et de la perméabilité.

Ces données sont introduites dans le modèle USLE, ce qui permet de les numériser dans le SIG en utilisant la carte lithologique (Figure 5.4) et la carte du taux de matière organique (Figure 5.5) de la zone d'étude, et d'attribuer le facteur d'érodabilité K respectif à chaque type de sol (Figure 5.6). Les résultats obtenus sont énumérés dans le tableau (5.2).



Source : Carte géologie du bassin versant de l’oued Fergoug A.N.B 2004

Figure 5.4 : Carte lithologique du bassin versant de l’oued Fergoug

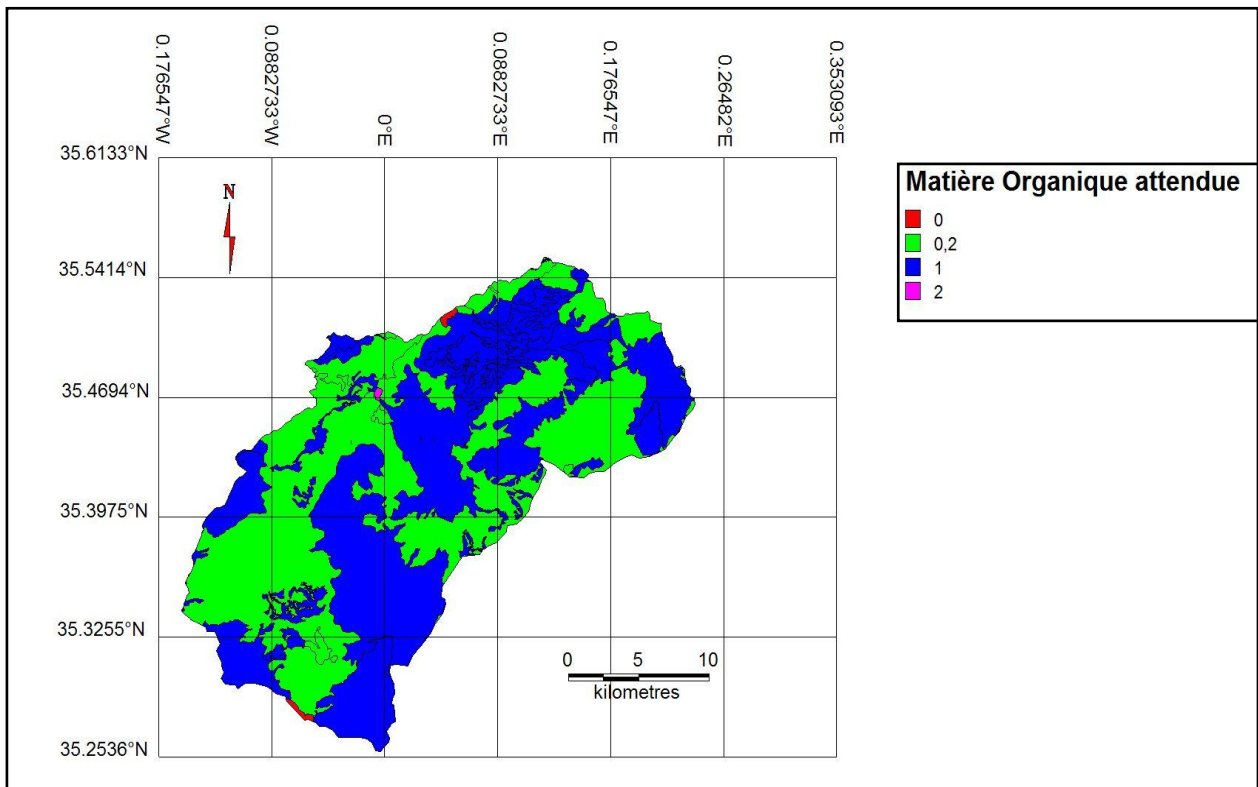


Figure 5.5 : Répartition du taux de matière organique dans le bassin versant de l’oued Fergoug

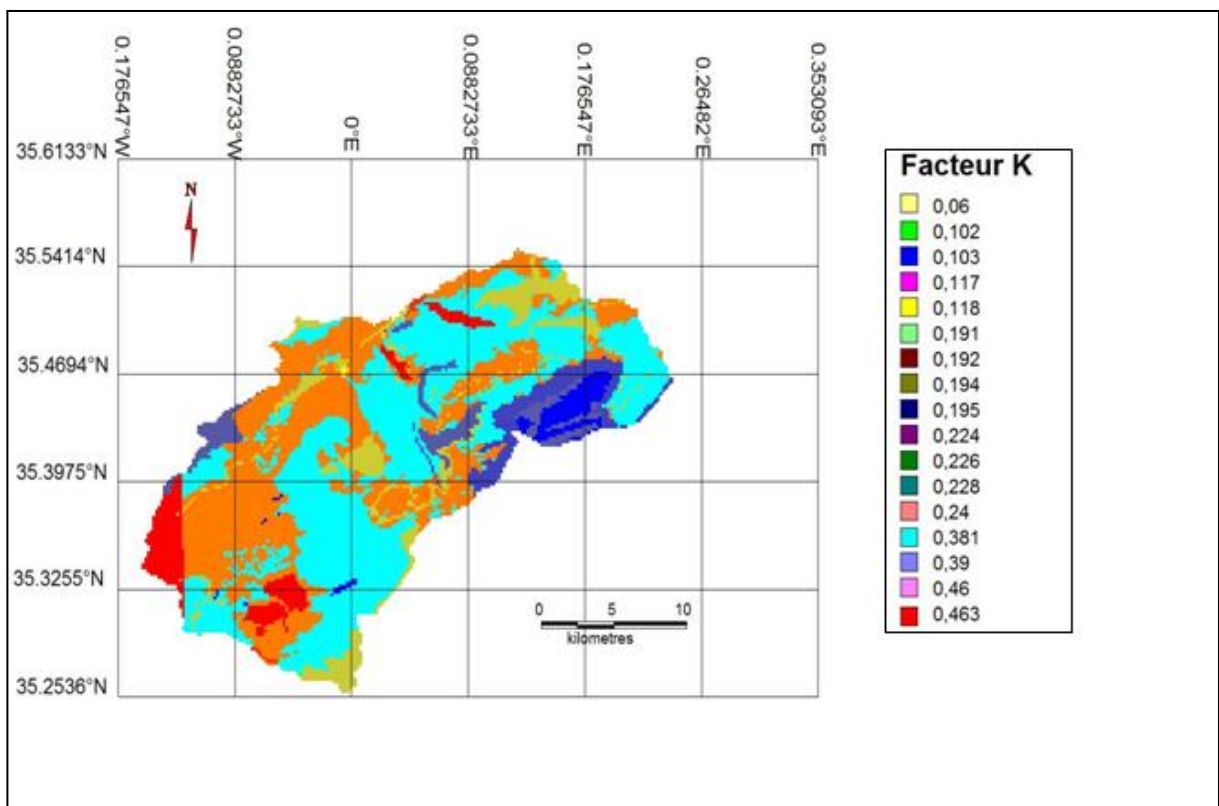


Figure 5.6: Facteur érodibilité des sols (K) dans le bassin versant de l’oued Fergoug

Tableau 5.2 : Facteur d'érodibilité des sols en fonction de la texture du sol et du taux de la matière organique.

Unité Lithologique	texture générale	texture détaillée	Facteur K			Classe d'érodibilité
			0.2 % de Mo	1 % de Mo	2 % de Mo	
Calcaire	Fine	Argileuse à argilo limoneuse	0,231	0,229	0,229	Faible
Marne	Modérément fine	Loam argileux	0,381	0,379	0,378	Elevée
Shale						
Formation marno_calcaire						
Dolomie						
Roche sédimentaires indifférenciées	Moyenne	Limon	0,463	0,460	0,456	Très élevée
Dépôt meuble à texture moyenne		Loam argileux	0,381	0,379	0,378	Elevée
Dépôt meuble à texture grossière	Grossière	Sableuse	0,060	0,060	0,059	Peu érodable
Grès		sablo loameux	0,103	0,102	0,101	
Brèches et conglomérats	modérément grossière	Loam sableux	0,194	0,192	0,191	Faible

Il en ressort que le facteur d'érodibilité (K), estimé par le Nomogramme de Wischmeier (1971) à partir des caractéristiques du sol, varie entre 0,06 à 0,46, classant ainsi les sols de cette région comme sensibles à l'érosion.

Classification des sols selon leur érodibilité (BOLLINE et al, 1978)

$K < 0,15$ Sol très résistant à l'érosion

0,15 à 0,25 Sols assez résistants à l'érosion

0,25 à 0,35 Sols moyennement sensibles à l'érosion

0,35 à 0,45 Sols sensibles à l'érosion

$K > 0,45$ Sol très sensibles à l'érosion

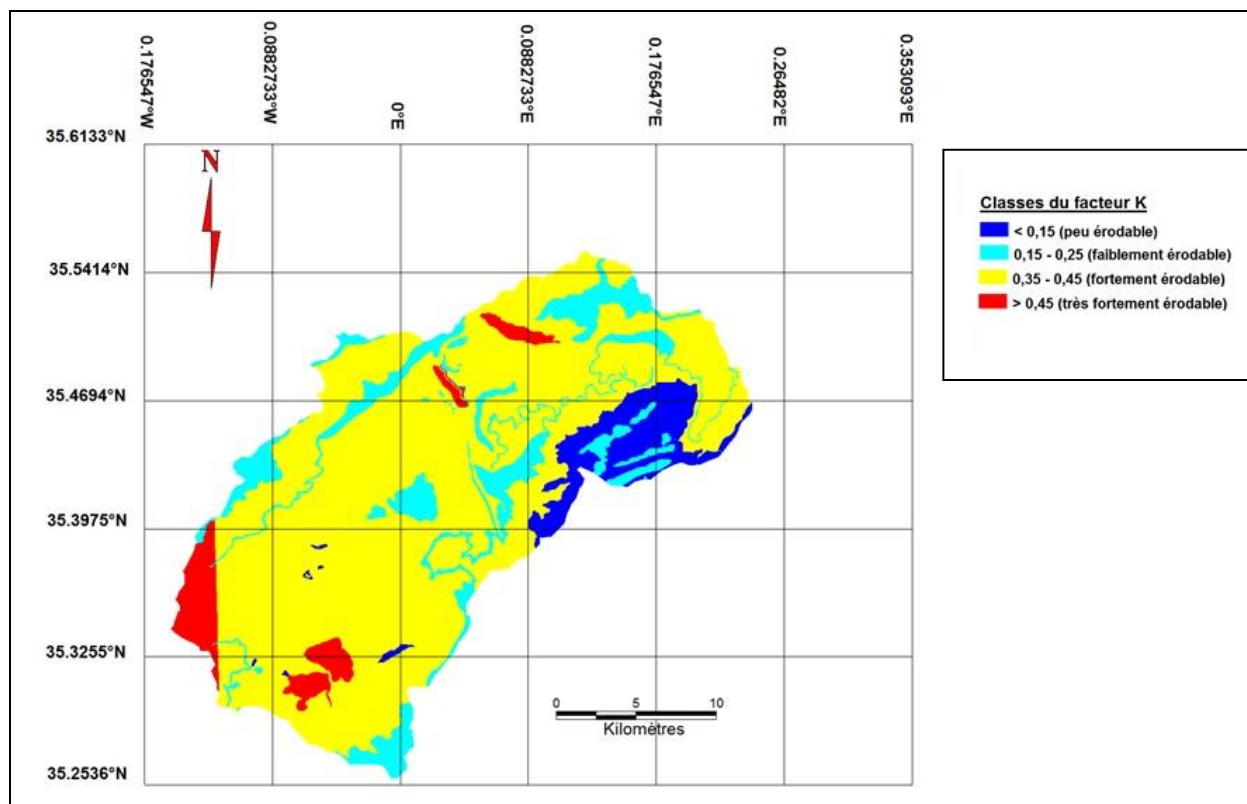


Figure 5.7 : Distribution des valeurs du facteur K dans le bassin versant de l’oued Fergoug.

Tableau 5.3 : Distribution des valeurs du facteur K dans le bassin versant de Fergoug

Classe d'érodibilité (K)	Superficie (Km2)	% superficie/surface bassin
< 0,15 (Peu érodable)	38,69	6,74
0,15 - 0,25 (Faiblement érodable)	83,20	14,49
0,25 - 0,35 (Moyennement érodable)	0	0
0,35 - 0,45 (Fortement érodable)	422,00	73,52
> 0,45 (Très fortement érodable)	30,11	5,25
Total	574,00	100

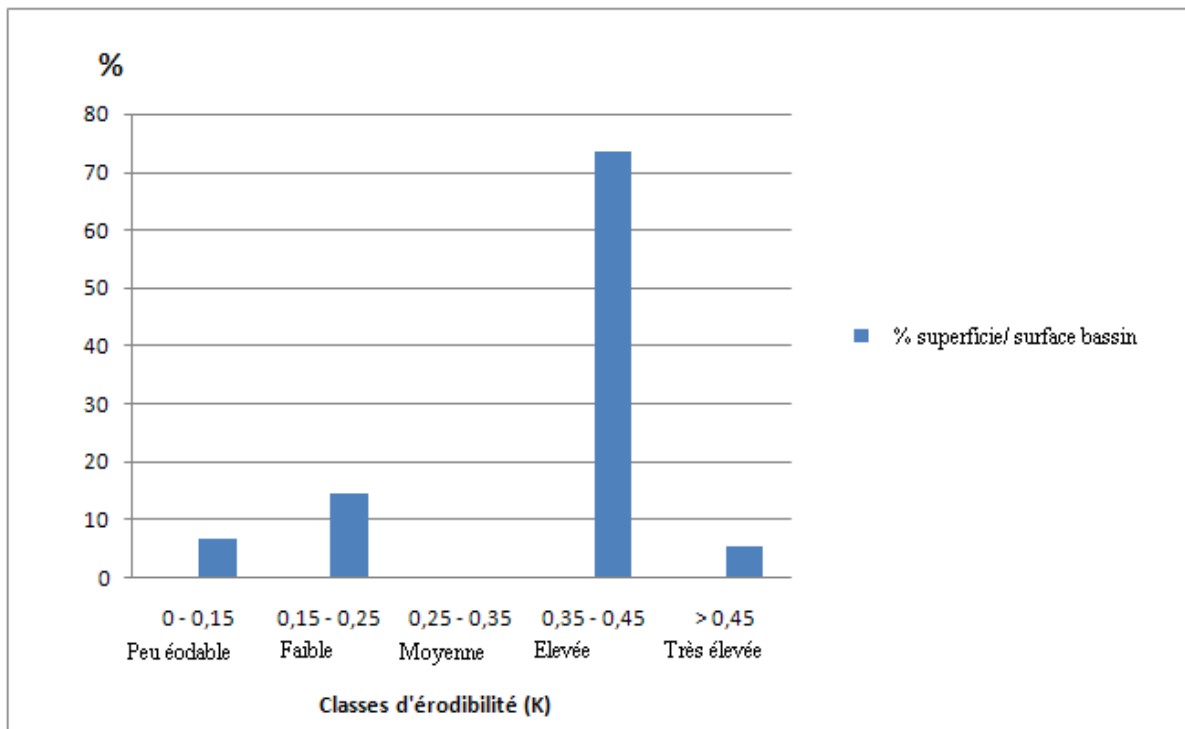


Figure 5.8 : Classes d'érodibilité du sol dans le bassin versant de l'oued Fergoug

Les sols à texture limoneuse et limono argileuse sont les plus sensibles à l'érosion. La classe de valeurs de K (0,35 – 0,45) occupe près de 74% de la superficie. Ces valeurs correspondent à la classe d'érodibilité fortement érodable.

1.3 - La topographie (LS)

1.3.1- Carte des pentes

Les données topographiques ont été intégrées dans le SIG Mapinfo par digitalisation des courbes de niveau (carte topographique au 1/50000, équidistance 10 m). Le SIG permet la transformation de ces données en modèle numérique de terrain (MNT) (Figure 5.9). Par l'application du logiciel Vertical Mapper, nous avons extrait du MNT les cartes qui nous intéressent : la carte hypsométrique par tranches d'altitude et la carte des pentes, carte dans laquelle nous avons regroupé les pentes en cinq classes (Figure 5.10 et Tableau 5.4).

La figure (5.11) montre graphiquement la répartition des classes de pentes dans le bassin versant. On constate que les deux classes (12,5% – 25%) et (> 25%) représentent plus de 70 % .

1.3.2- Carte des longueurs de pentes

La carte des longueurs de pentes a été réalisée manuellement. Sur la carte topographique au 1/50 000 , nous avons tracé les limites entre différentes grandes surfaces (limite forêt , route, piste, ligne de crête ...) ,ensuite on a mesuré la longueur des différentes surfaces suivant la ligne de plus grande pente. La carte obtenue a ensuite été digitalisée. La figure (5.13) montre la distribution des longueurs de pentes dans le bassin versant.

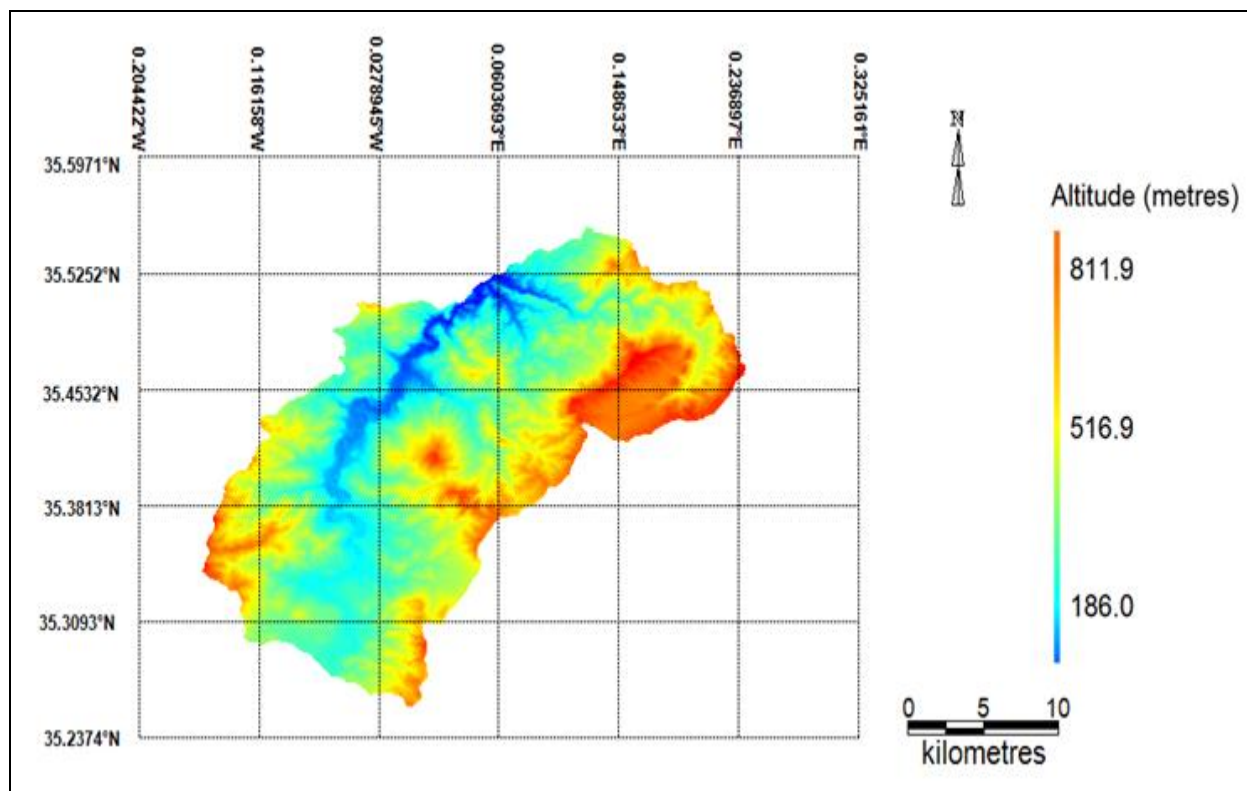


Figure 5.9 : Modèle Numérique du Terrain du bassin versant de l'oued Fergoug.

1.3.3- Détermination du facteur topographique dans le bassin versant de Fergoug

L'indice topographique LS extrait par application de la carte des pentes et la longueur de la pente ; par le module overlay du SIG Mapinfo nous avons superposé les deux cartes et appliqué la formule de WISCHMEIER et SMITH (1978).

Nous avons obtenu dans le bassin versant des unités de surface en moyenne d'hectares de facteur LS, chaque unité possède des valeurs homogènes de facteur LS. Nous avons regroupé ces différentes unités en six classes (Figure 5.15 et Tableau 5.6).

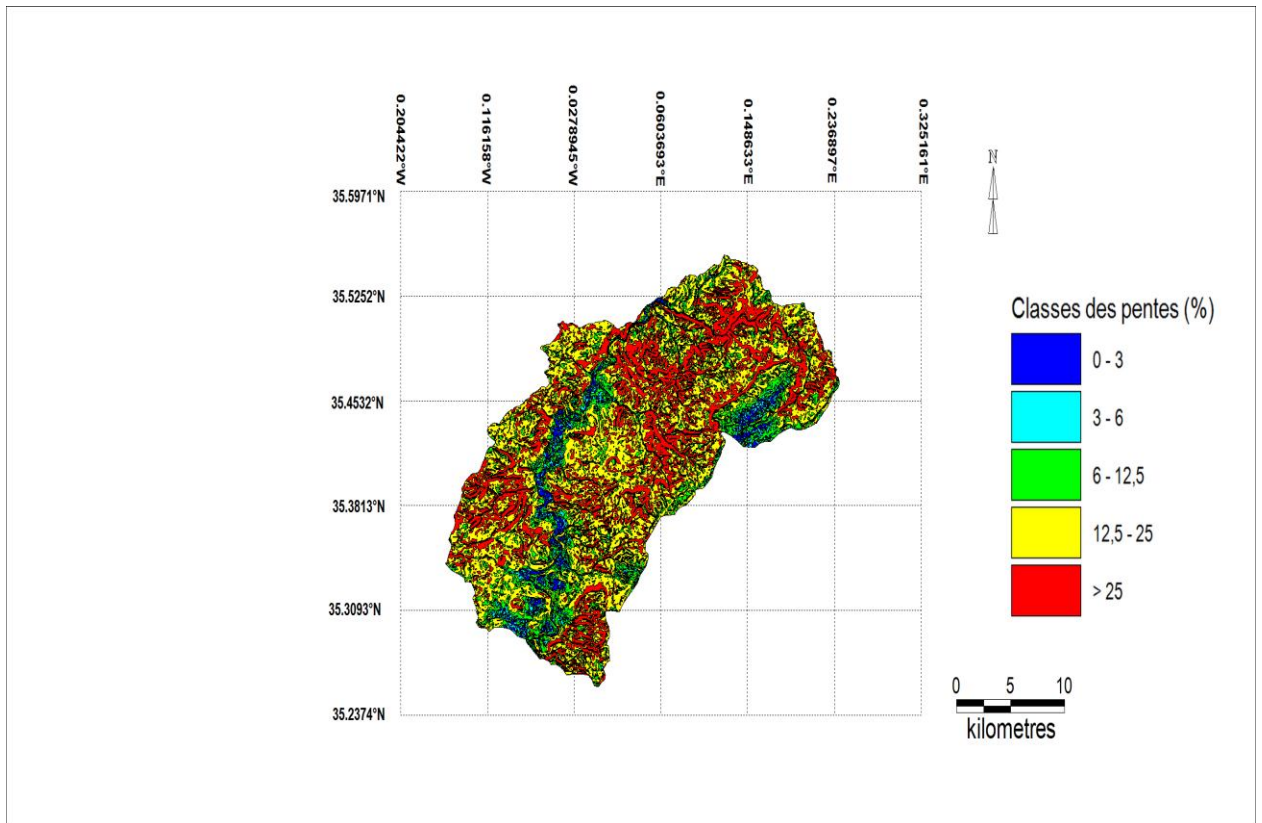


Figure 5.10 : Carte des classes de pentes dans le bassin versant de l’oued Fergoug

Tableau 5.4 : Répartition des classes de pentes dans le bassin versant de l’oued Fergoug

classe pente (%)	superficie (Km2)	% superficie/surface bassin
0 -3	16,24	2,83
3 -6	40,34	7,03
6 -12,5	111,12	19,36
12,5 – 25	262,90	45,80
> 25	143,4	24,98
Total	574	100

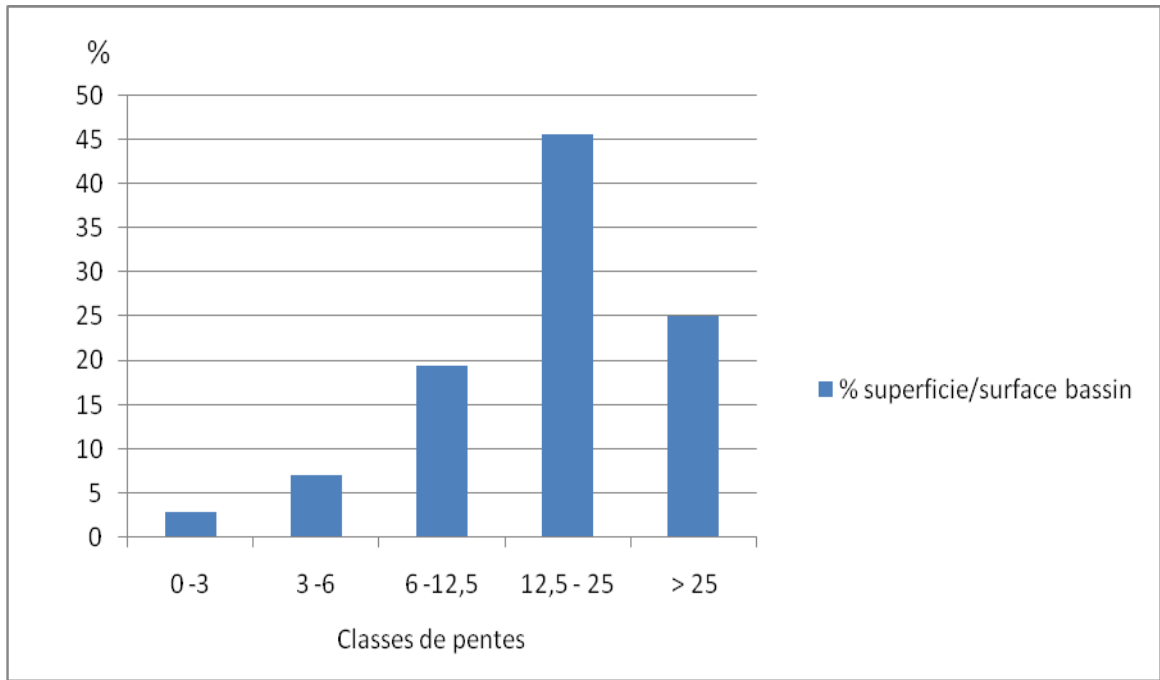


Figure 5.11 : Répartition des classes de pentes dans le bassin versant de l’oued Fergoug

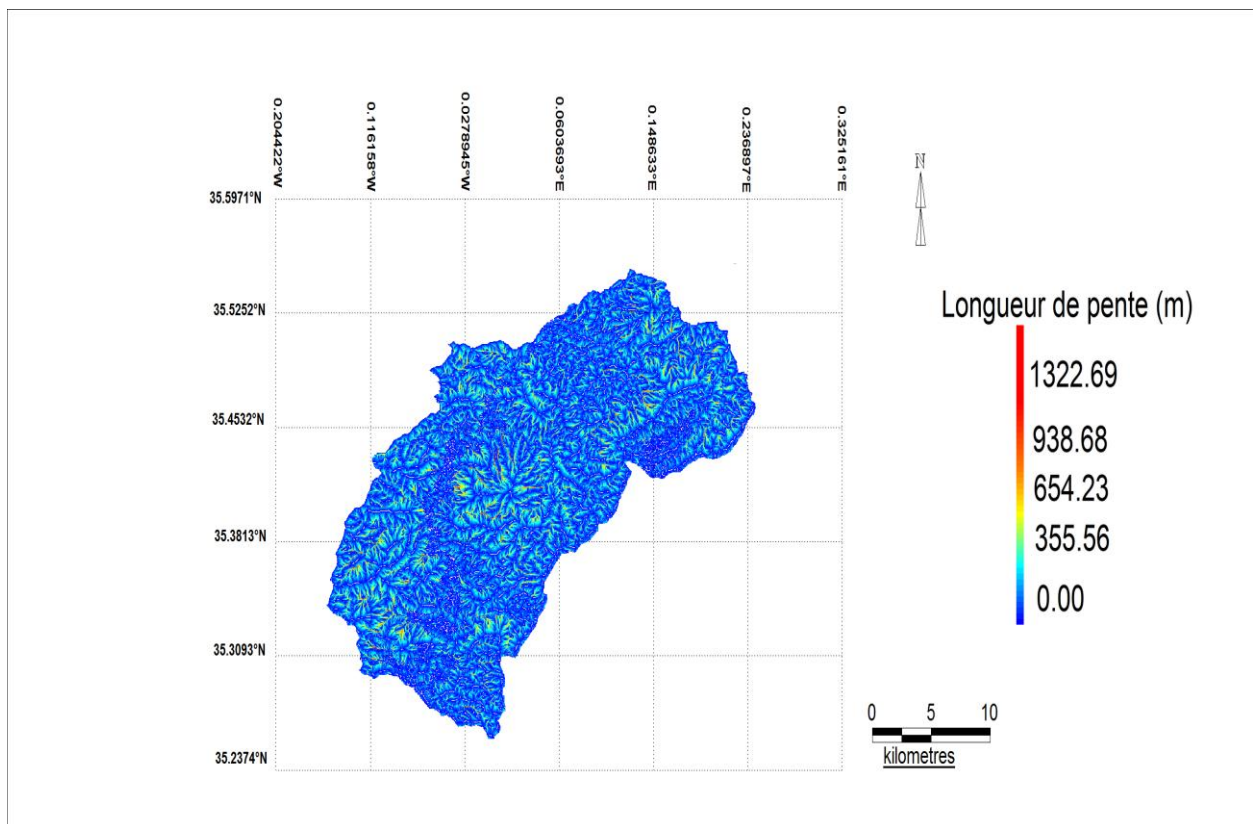


Figure 5.12 : Carte des classes de Longueurs de pentes dans le bassin versant de l’oued Fergoug

Tableau 5.5 : Répartition des longueurs de pentes dans le bassin versant de l’oued Fergoug

Longueur de pente	superficie (Km2)	% superficie/surface bassin
0 – 50	138,2	24,08
50 – 100	100,6	17,53
100 - 150	80,98	14,11
150 - 200	61,7	10,75
200 - 250	46,02	8,02
> 250	146,5	25,52
Total	574,00	100

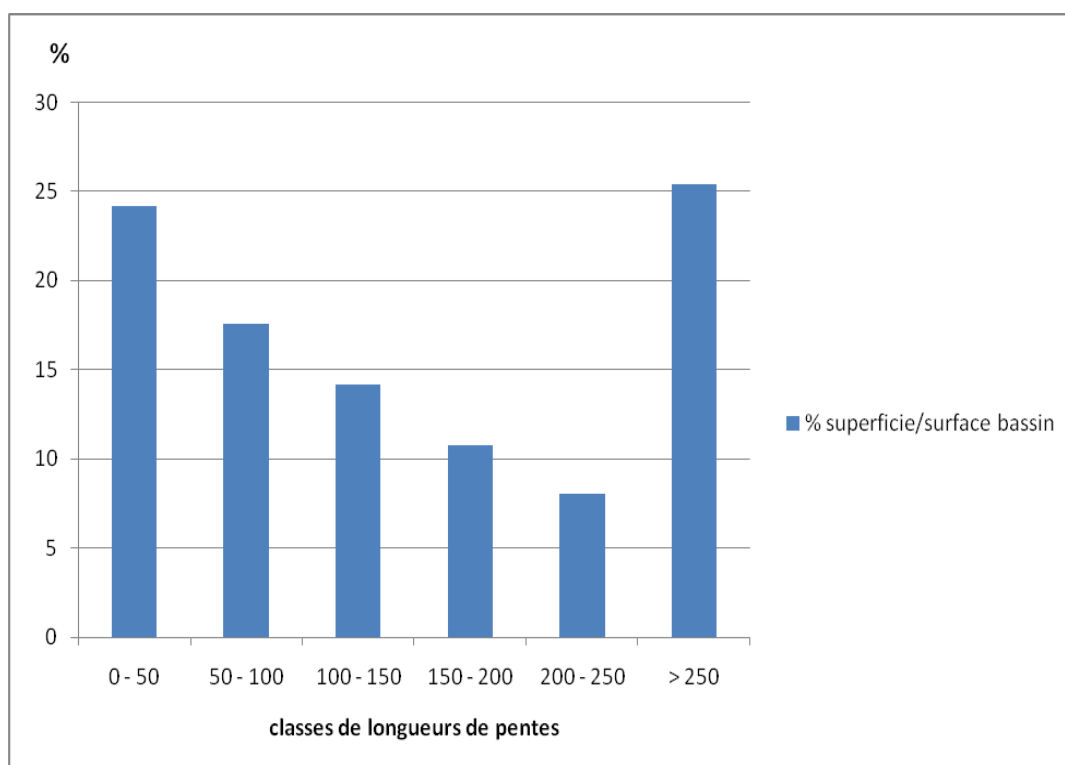


Figure 5.13 : Répartition des longueurs de pentes dans le bassin versant de l’oued Fergoug

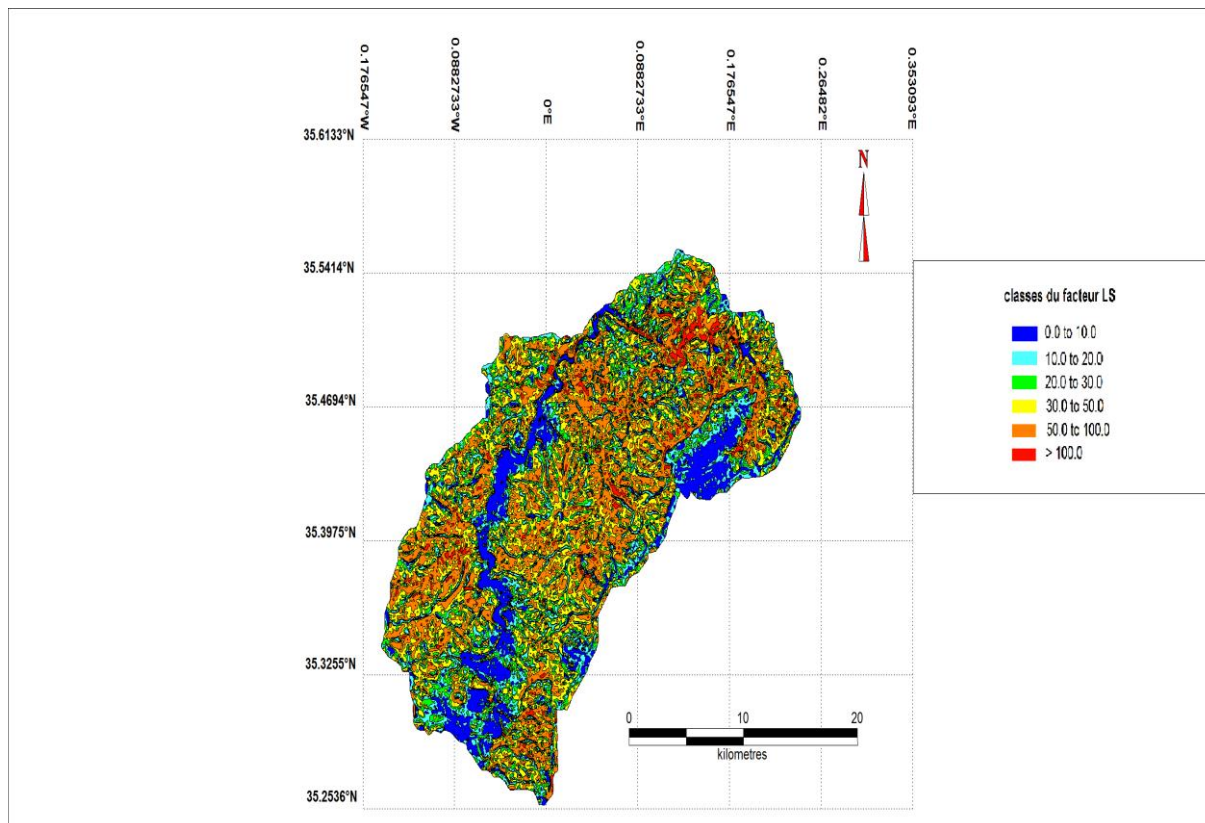


Figure 5.14: Carte des classes du facteur LS dans le bassin versant de l’oued Fergoug

Tableau 5.6 : Distribution des classes du facteur LS dans le bassin versant de l’oued Fergoug

Classes LS	superficie (Km2)	% superficie/surface bassin
0-10	44,10	7,68
10-20	91,84	16,00
20-30	102,10	17,79
30-50	175,20	30,52
50-100	145,00	25,26
>100	15,76	2,75
Total	574,00	100

La figure (5.15) montre que les valeurs de LS des deux classes (30-50) et (50-100) couvrent plus de 55 % du bassin versant.

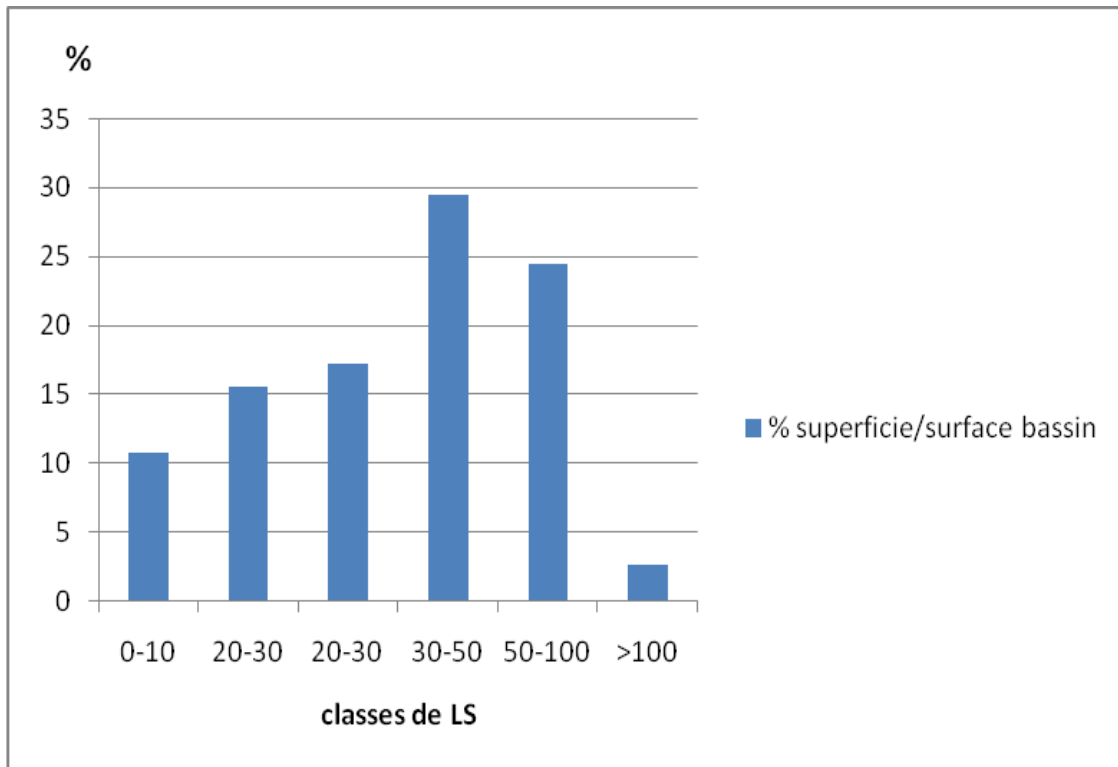


Figure 5.15 : Distribution des classes du facteur LS dans le bassin versant de Fergoug

1.4 - Le couvert végétal (C)

La détermination du facteur C repose sur la densité de la couverture de la surface du sol par la végétation et sur la hauteur des strates végétales.

Il s'agit ici d'exprimer l'effet du couvert végétal présent dans la zone d'étude, la valeur attribuée est de 0,02 pour les forêts, 0,03 pour les Maquis et les parcours, 0,7 pour les cultures céréalières, 0,4 pour l'arboriculture, et 0,9 pour les sols nus. (Figure 5.16)

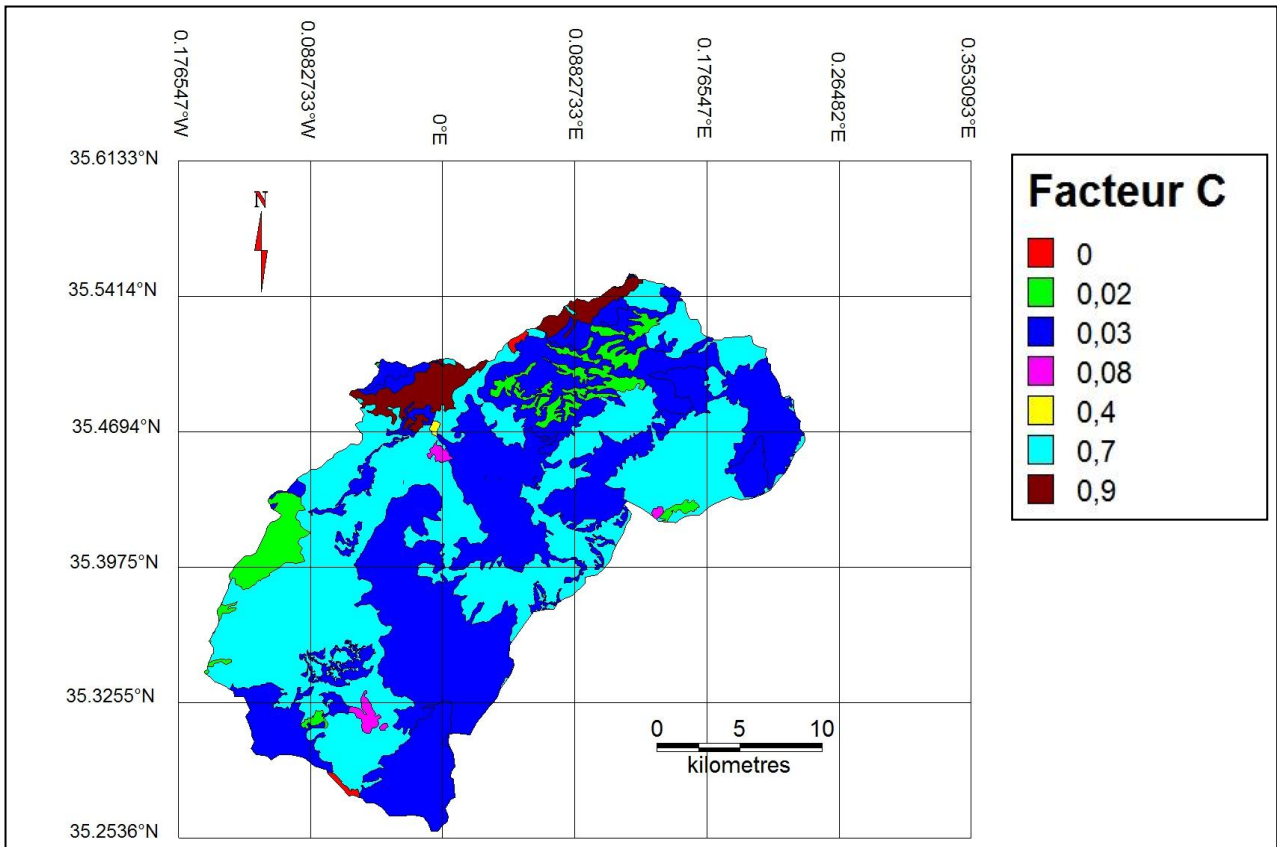


Figure 5.16: Carte des valeurs du facteur C dans le bassin versant de Fergoug

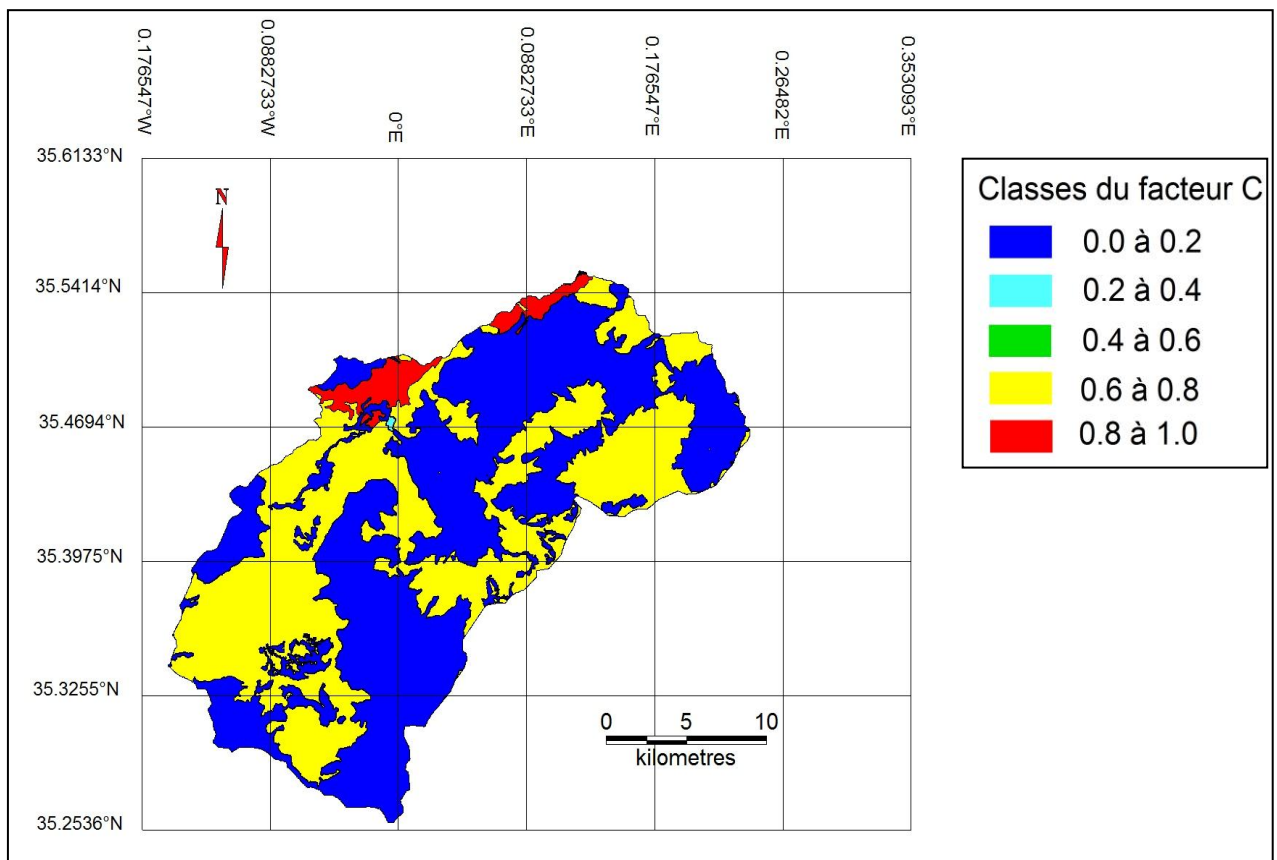


Figure 5.17: Distribution des classes du facteur C dans le bassin versant de Fergoug

Pour simplifier la lecture des résultats, la représentation graphique ainsi que pour la confrontation du facteur C avec les autres facteurs, nous avons réparti les valeurs de C en 5 classes (Tableau 5.7).

Tableau 5.7 : Distribution des classes du facteur C dans le bassin versant de Fergoug

Casses de C	superficie (Km2)	% superficie/surface bassin
0 - 0,2	298,41	51,99
0,2 - 0,4	6,41	1,12
0,4 - 0,6	6,82	1,19
0,6 - 0,8	243,67	42,45
0,8 - 1	18,69	3,26
Total	574	100,00

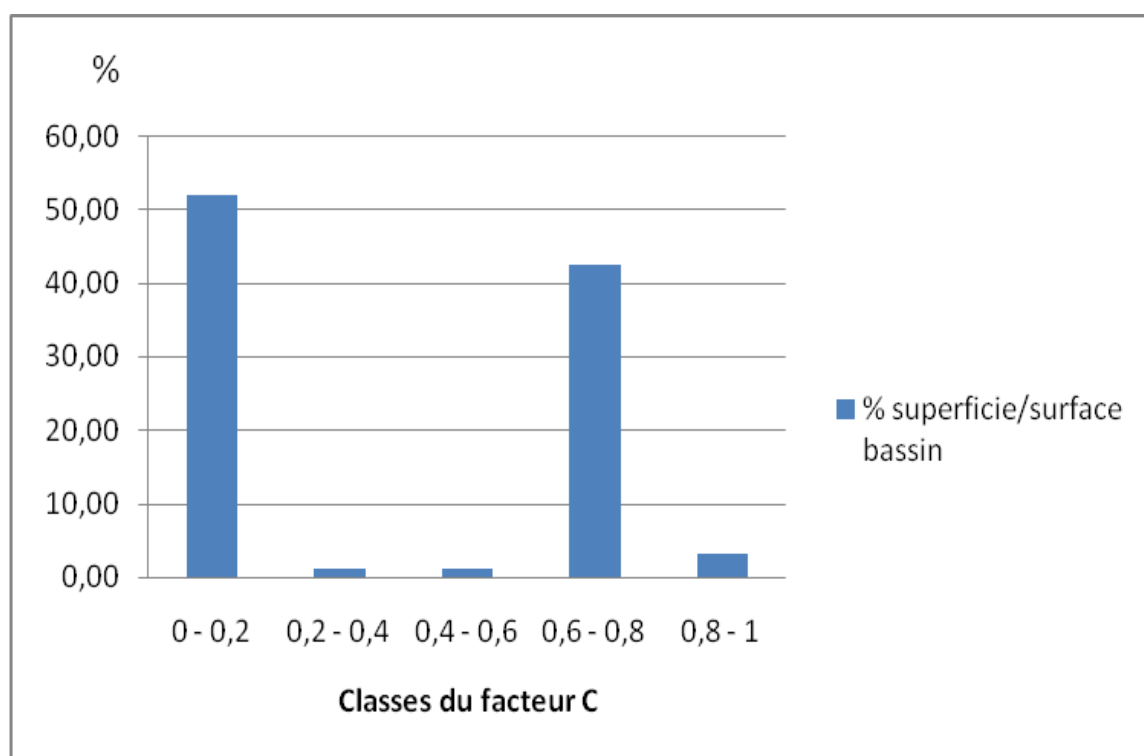


Figure 5.18: Distribution des classes du facteur C dans le bassin versant de Fergoug

La figure (5.18) montre que les valeurs des deux classes ((0-0,2) ; (0,6-0,8)) couvrent plus de 94% du bassin, et les trois classes qui reste couvrent que 5,56% du bassin versant de l'oued Fergoug.

2. Evaluation des pertes en sol dans le bassin versant

L'évaluation des pertes en terre, par l'érosion hydrique a été obtenue par la superposition des cartes thématiques des facteurs de l'érosion hydrique à l'aide du SIG (Mapinfo 8.0) et l'application de l'équation universelle de perte de terre. Le résultat fut une subdivision du bassin en des unités distinctes de surface qui possèdent chacune des valeurs homogènes des cinq facteurs de l'USLE, avec 27,63 une perte en sol, moyenne de tous les pixels de l'unité exprimée en t/ha/an, cette moyenne et plus proche a celle qui a été trouve à l'est de notre région d'étude par Neggaz (2012) dans le bassin versant de l'oued Mina (25,45 t/ha/an). Des mesures du transport solide ont été effectuées sur l'ensemble du bassin versant de l'oued Mina par Touiaibia et Achite 2003. Les résultats obtenus ont également montré que la zone est fortement touchée par l'érosion hydrique avec une moyenne dépassant 20 t/ha/an (NEGGAZ, 2012).

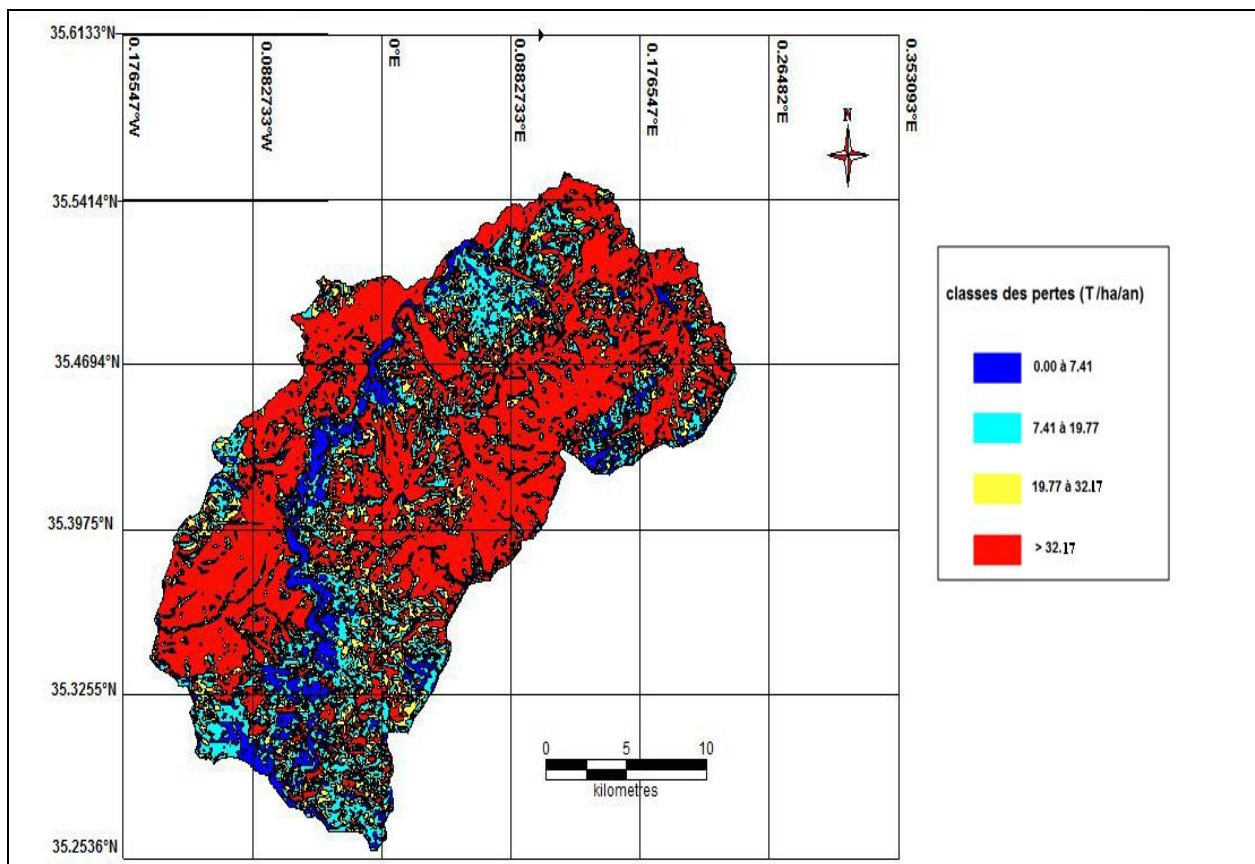


Figure 5.19 : Carte des pertes en sols du bassin versant de l'oued Fergoug

Pour faciliter la quantification et l'estimation de l'érosion hydrique, on a choisi d'utiliser une classification américaine qui se base sur la tolérance des sols à l'érosion. Cette classification considère que les sols peuvent supporter une perte allant jusqu'à 7,41 t/ha/an et que si les pertes sont de plus de 20 t/ha/an elles peuvent devenir fortes et dangereuses.

Selon cette classification, on considère que les pertes sont faibles lorsqu'elles ne dépassent pas 7,41 t/ha/an, moyennes lorsqu'elles sont comprises entre 7,41 et 19,77 t/ha/an, forte lorsqu'elles ont des valeurs comprise entre 19,77 et 32,17 t/ha/an et très forte lorsque les pertes dépassent 32,17 t/ha/an. La répartition de ces classes dans le bassin versant est représentée sur la carte de pertes (Figure 5.19) et les proportions de chaque classe son rangées dans le tableau (5.8).

Tableau 5.8 : Répartition des pertes dans le bassin versant de l'oued Fergoug

Classes perte	Erosion hydrique	perte moyenne (t/ha/an)	surface (km²)	% superficie/surface bassin
0 - 7,41	Erosion faible	4,08	44,46	7,75
7,41 - 19,77	Erosion hydrique moyenne	13,41	130,41	22,72
19,77 - 32,17	Erosion hydrique forte	24,97	119,53	20,82
> 32,17	Erosion hydrique très forte	68,06	279,60	48,71
Total			574,00	100

3. Influence de chaque facteur sur les pertes en sol

3.1. Effet de l'agressivité climatique (Facteur R)

Tableau 5.9: Distribution des pertes en sol en fonction du facteur R dans le bassin versant de l'oued Fergoug

R	perte moyenne (t/ha/an)	superficie (Km ²)	% superficie/surface bassin
44,35 - 54,33	49,16	471,50	82,14
54,33 - 55,76	34,42	39,38	6,86
55,76 - 57,18	67,46	1,36	0,24
57,18 - 58,61	46,92	61,76	10,76
Total		574,00	100

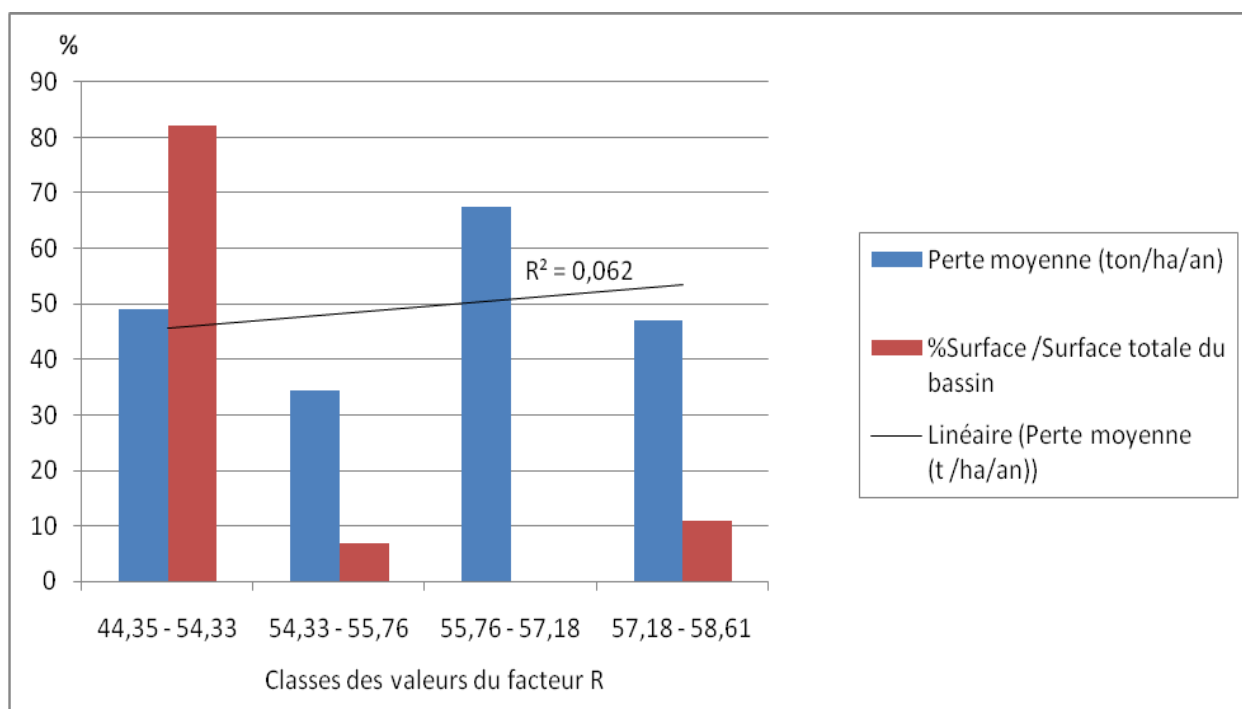


Figure 5.20 : Evolution des pertes en fonction du facteur R

Le calcul de R par la formule de Rango et Arnoldus (1987) a donné des valeurs variant entre 44 et 59 KJ.mm/m².heure . La corrélation entre les pertes moyennes en sol et les valeurs de l'agressivité climatique est très faible $R^2 = 0,062$.

Comme l'agressivité des pluies est un des facteurs importants de l'érosion, les pertes en sol et le facteur R dans le bassin versant de l'oued Fergoug devraient concorder or la relation trouvée ne suit pas le schéma tracé par Wischmeier et Smith.

Plusieurs raisons peuvent expliquer ces résultats :

- L'écart entre les valeurs extrêmes de R est faible ;
- L'éloignement des stations d'enregistrement des précipitations et l'extrapolation de leurs données aux différentes zones du bassin alors que les précipitations peuvent parfois tomber sous forme d'averses localisées ravinant seulement une partie du bassin versant sans qu'elles ne soient enregistrées par aucune station ;

3.2. Perte en sol en fonction de la pente

Dans le tableau (5.10) , on constate que les pertes moyennes augmentent proportionnellement avec l'inclinaison des pentes.

Tableau 5.10 : Répartition des pertes en sol en fonction des classes de pentes .

Classes de pentes (%)	perte moyenne (ton/ha/an)	superficie (Km2)	% superficie/surface bassin
0 -3	11,93	16,24	2,83
3 -6	20,45	40,34	7,03
6 -12,5	34,46	111,12	19,36
12,5 – 25	48,96	262,90	45,80
> 25	68,16	143,4	24,98
Total		574	100

La figure (5.21) montre graphiquement, l'évolution des pertes moyennes et leurs surfaces relatives en fonction des variations des inclinaisons des pontes. Le coefficient de corrélation de cette évolution montre une très bonne corrélation ($R^2 = 0,95$). Les moyennes des pertes augmentent d'une manière relativement proportionnelle avec la variation des valeurs d'inclinaison des pentes.

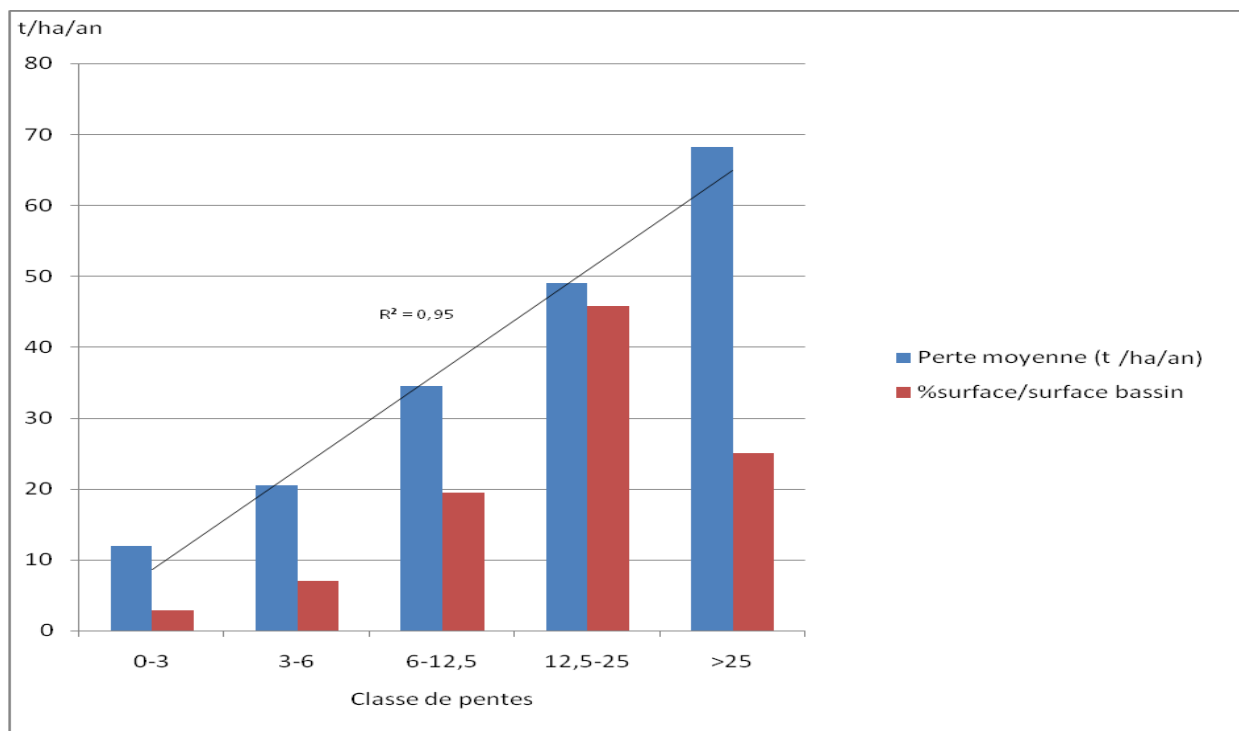


Figure 5.21 : Distribution des pertes moyennes en sol en fonction des classes de pentes dans le bassin versant de l'oued Fergoug

Les pertes moyennes augmentent avec les surfaces relatives aux différentes classes de pentes jusqu'à la dernière classe de pentes forte le pourcentage de surfaces diminue.

D'après ces résultats, la pente apparaît comme un des facteurs qui jouent un rôle primordial dans le processus d'érosion hydrique dans le bassin versant de Fergoug.

3.3. Perte en sol en fonction de la longueur de pente

La figure (5.22) montre une bonne corrélation entre les pertes de terre et les classes de longueurs de pentes ($R^2 = 0,92$).

Tableau 5.11 : Répartition des pertes en sol en fonction des longueurs de pentes

Classes de longueurs de pentes	perte moyenne (t/ha/an)	superficie (Km2)	% superficie/surface bassin
0 – 50	43,52	138,2	24,08
50 – 100	46,13	100,6	17,53
100 – 150	47,02	80,98	14,11
150 – 200	48,27	61,7	10,75
200 – 250	49,34	46,02	8,02
> 250	53,64	146,5	25,52
Total		574,00	100

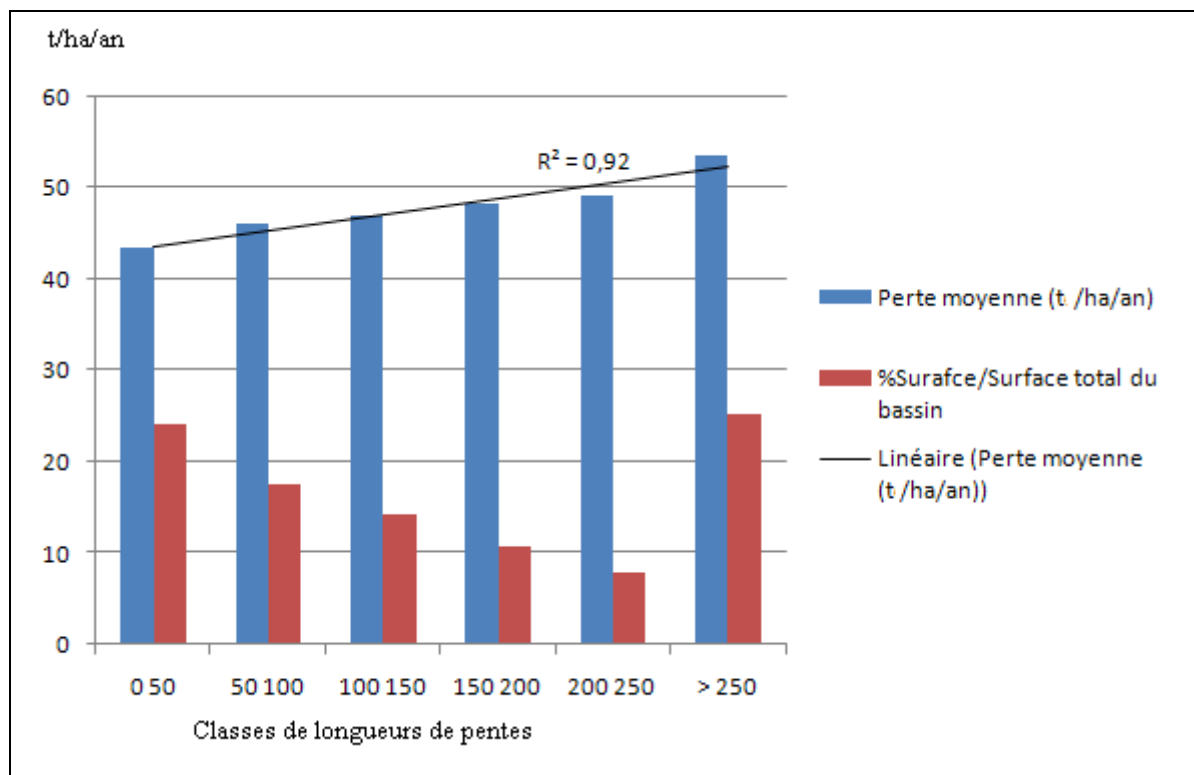


Figure 5.22 : Distribution des pertes moyennes en sol en fonction aux différentes longueurs de pentes.

3.4. Effet du facteur topographique LS

Tableau 5.12 : Répartition des pertes en sol en fonction du facteur topographique LS

LS	perte moyenne (t/ha/an)	% superficie/surface bassin	superficie (Km2)
0-10	7,70	7,68	44,1
10-20	19,90	16,00	91,84
20-30	30,80	17,79	102,1
30-50	45,75	30,52	175,2
50-100	75,76	25,26	145
> 100	137,39	2,75	15,76
Total		100	574,00

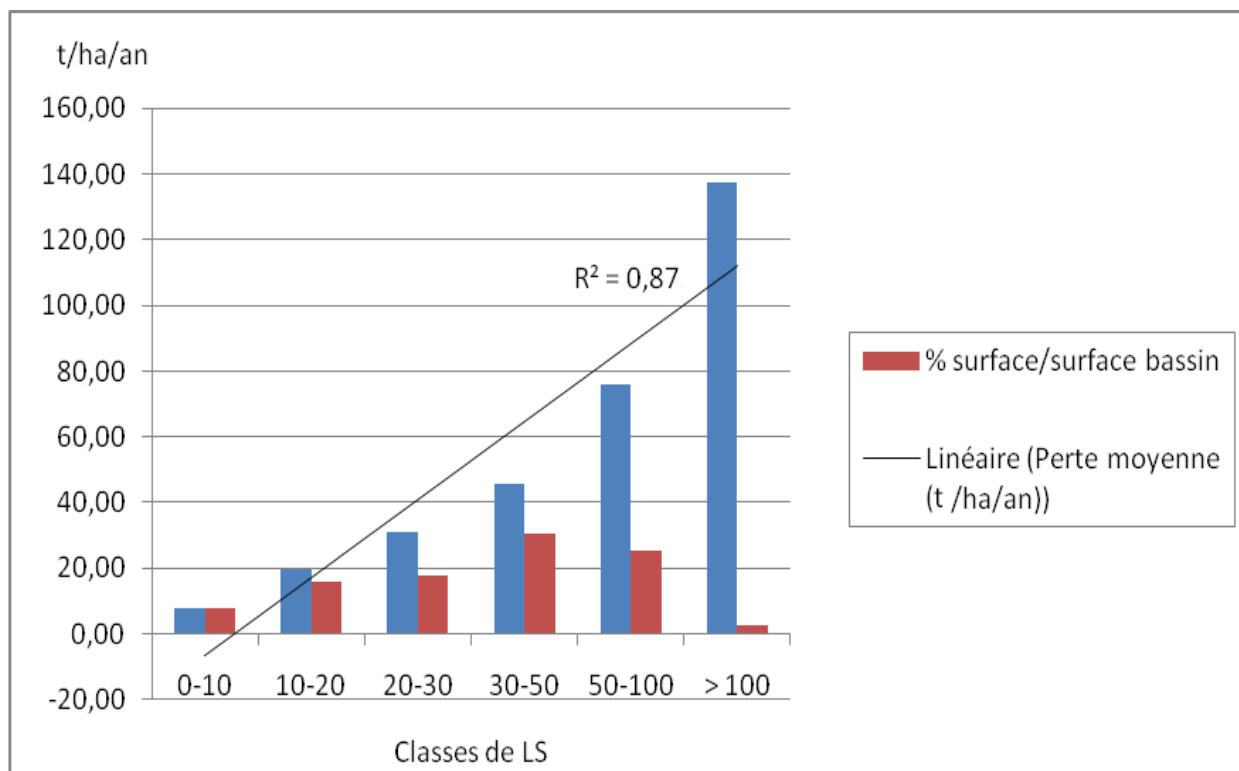


Figure 5.23 : Distribution des pertes moyennes en sol en fonction du facteur LS

Graphiquement (Figure 5.23), la combinaison de la pente et de la longueur de pente par la formule de Wischmeier présente une bonne corrélation avec les pertes en sol ($R^2 = 0,87$).

La corrélation est relativement moins bonne que celle des pertes avec l'inclinaison de pentes ce qui dénote que dans le facteur topographique, les longueurs de pentes jouent un rôle secondaire dans le taux de pertes en sol par ruissellement. Ce sont surtout les inclinaisons de pentes qui jouent le rôle le plus déterminant.

3.5. Effet de l'érodibilité des sols . Facteur K

Tableau 5.13 : Répartition des pertes en sol en fonction de l'érodibilité des sols (K) .

érodibilité (K)	perte moyenne (t/ha/an)	superficie (Km2)	% superficie/surface Bassin	Classes d'érodibilité
< 0,15	6,37	38,69	6,74	Peu érodable
0,15 - 0,25	27,12	83,20	14,49	Faible
0,25 - 0,35	0,00	0	0	Moyenne
0,35 - 0,45	45,21	422,00	73,52	Elevée
> 0,45	77,23	30,11	5,25	Très élevée
Total		574	100	

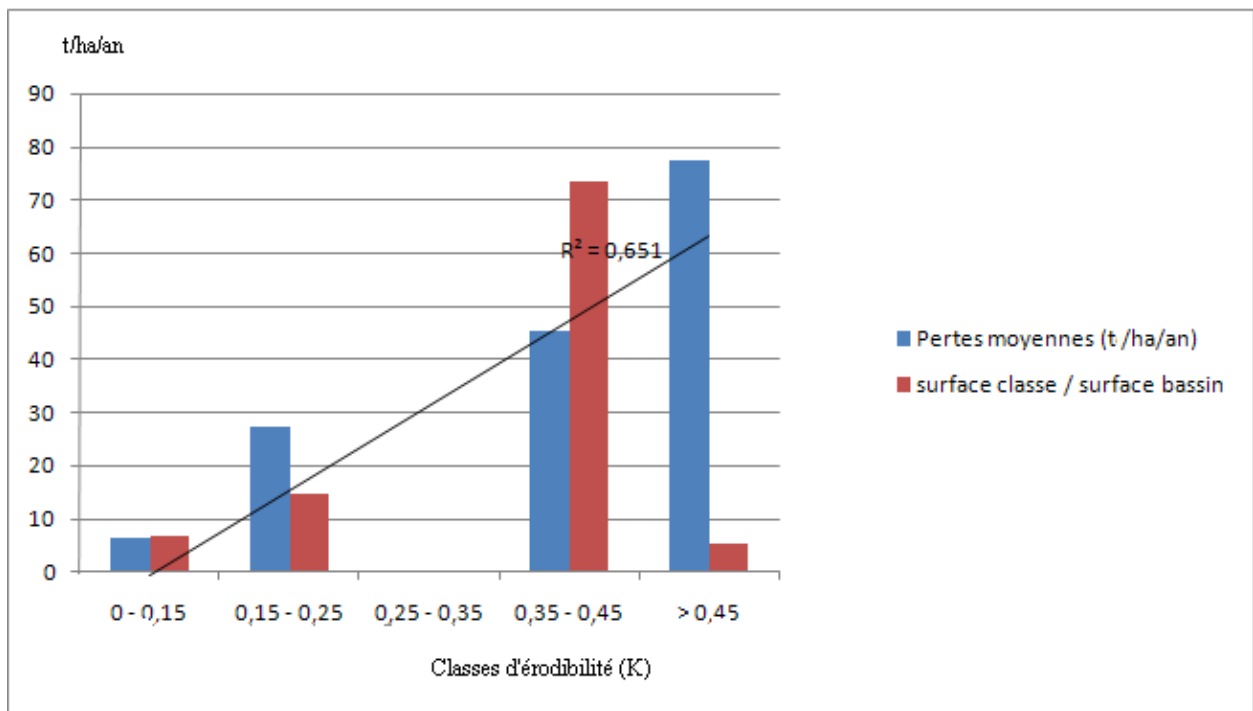


Figure 5.24 : Evolution des pertes en sol en fonction de l'érodibilité des sols (Facteur K)

Le facteur d'érodibilité des sols K présente une bonne corrélation avec les pertes moyenne ($R^2 = 0,65$).

La variation des surfaces n'a pas caché l'influence du facteur K sur les pertes. On peut donc conclure que le facteur K est un facteur décisif dans le contrôle de l'érosion pour notre zone d'étude, mais a moindre degré que la pente.

3.6. Effet du couvert végétal. Facteur C

Tableau 5.14 : Distribution des pertes en sol en fonction du facteur C .

C	perte moyenne (t/ha/an)	superficie (Km2)	% superficie/surface bassin
0 - 0,2	25,49	298,41	51,99
0,2 - 0,4	37,21	6,41	1,12
0,4 - 0,6	45,87	6,82	1,19
0,6 - 0,8	54,60	243,67	42,45
0,8 - 1	140,00	18,69	3,26
Total		574,00	100,00

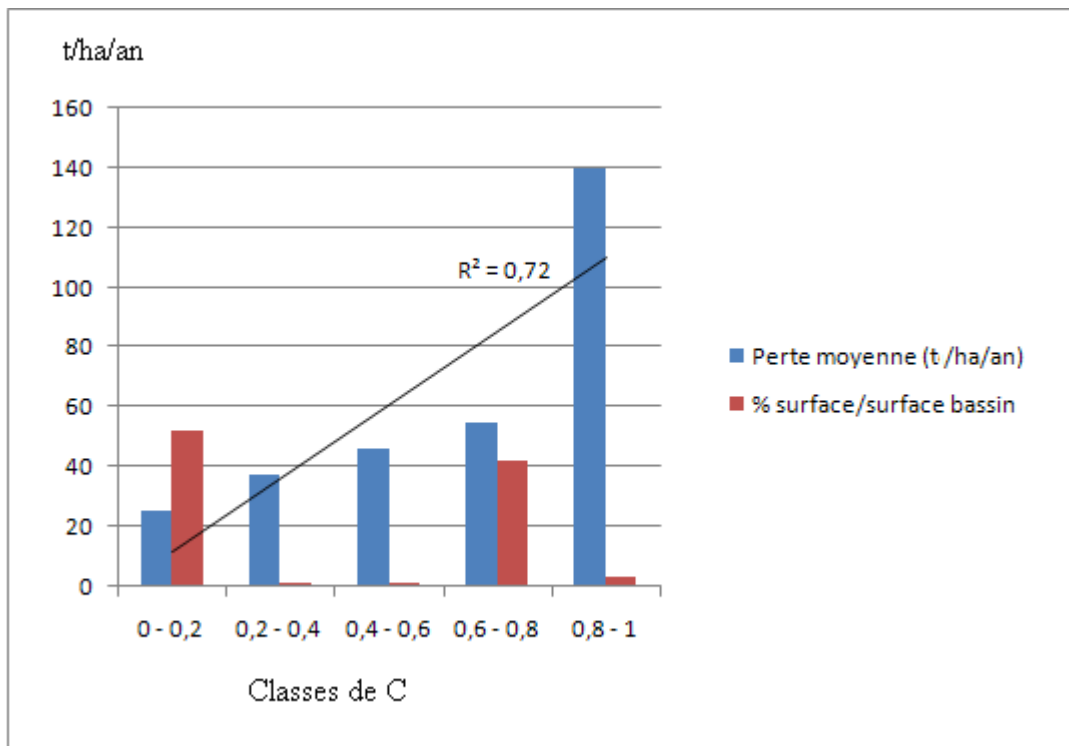


Figure 5.25 : Répartition des pertes en sol en fonction du facteur C

Le degré de protection des sols par le couvert végétal se traduit au niveau des pertes moyennes qui enregistrent une variation proportionnelle à la variation des classes de valeurs de C. La corrélation est bonne ($R^2 = 0,72$).

Chapitre VI
Planification des mesures
de conservation des sols

1. Planification des mesures de conservation des sols

La carte des pertes en sol obtenue est extrêmement utile afin d'identifier les secteurs prioritaires sur lesquels il est nécessaire d'appliquer des mesures de conservation des sols pour freiner l'érosion hydrique et pour assurer une gestion durable de ces sols.

A la suite de la cartographie des zones susceptibles à l'érosion, des observations sur le terrain ont été réalisées afin de valider les résultats. Plusieurs signes de l'érosion hydrique ont été remarqués au cours de ces visites dans les différents modes d'occupation et d'utilisation des sols permettant de juger la gravité de l'érosion.

Les procédés de conservation de sols sont nombreux, et un choix doit être fait suivant le cas étudié.

En effet, La lutte contre l'érosion au niveau du bassin versant doit s'organiser de l'amont vers l'aval : à chaque niveau correspond une gamme d'aménagement qui dépend essentiellement du sol, de la topographie et des conditions agricoles. Parmi les méthodes utilisées on peut préconiser celles qui permettent d'augmenter la résistance du sol et diminuer le ruissellement.

1.1. Le reboisement

Reste la meilleure solution de prévention contre l'envasement. Une forêt en équilibre stable et au couvert complet protège parfaitement le sol contre les effets des eaux de ruissellement et facilite l'infiltration de l'eau (J. Greco, 1966)

On peut aussi planter des espèces arboricoles (amandier, figuier, vigne etc...) qui pourront être une source de revenus non négligeable pour la population riveraine. En effet les paysans montagnards pourront exploiter ces vergers tout en assurant l'entretien des espèces.

1.2. Les pratiques culturales

Les façons culturales pratiquées par les agriculteurs favorisent énormément le phénomène d'érosion. Il est donc nécessaire de faire connaître aux riverains tous les méfaits de l'érosion et les vulgariser aux techniques élémentaires du travail du sol. Parmi ces techniques nous citons :

- le paillage : on recouvre le sol par des résidus végétaux.
- le non déchaumage : entre une culture de céréales (blé, orge ...) et une autre culture.
- diminuer la pente et la longueur de pente : pour diminuer la pente on utilise les techniques culturales suivantes :

le billonnage et les haies en bordure d'une parcelle

1.3. Actions sur les ravinelements

Elle consiste à protéger le fond et les berges des ravins contre les forces érosives des courants d'eau à vitesse élevées.

Pour combattre ces forces érosives, on utilise le plus souvent :

Les plantes à croissances rapide : (peuplier...etc.)

Gabions : formés de galets enfermés dans un grillage.

Pour l'oued on utilise aussi :

- les épis disposés sur les berges qui repoussent les courants vers le centre.
- des seuils implantés en travers limitent l'approfondissement du fond.
- profil en travers de stabilisation formée des poutres en béton, posées des intervalles réguliers.

1.4. Actions au niveau du barrage

Les eaux chargées de la rivière, de densité supérieure à celle des eaux claires de la retenue, forment un courant de densité qui s'écoule au fond.

Une bonne utilisation des chasses d'eau après chaque crue permet de limiter l'envasement des retenues en fonctionnement normal.

Pour que cette conservation des sols soit réellement efficace, il sera nécessaire de développer une coopération entre les gestionnaires et les exploitants et une législation appropriée qui donnera à l'administration les moyens d'action nécessaires.

2. Les techniques antiérosives

Compte tenu l'expérience Algérienne, et à la base de développement des programmes engagées et la réalisation des objectifs soulignées, notamment de point de vue écologique.

Il est actuellement urgent de trouver des solutions pour sauvegarder les réalisations et pour l'aménagement de ces zones, qui présentent une variabilité du climat et des sols.

La connaissance des facteurs déterminant l'érosion hydrique des sols, est un préalable indispensable pour localiser les zones d'intervention prioritaires et proposer des solutions d'aménagement adaptées aux conditions locales, pour arriver à ce résultat, les travaux doivent être longue et continue pour les années prochaines, il faut suivre ces démarches comme axes d'aménagement

Après la détermination de la sensibilité de terrains à l'érosion hydrique, il y a deux méthodes de conservation des sols.

- Les actions mécaniques qui réduisent la vitesse de ruissellement des eaux
- Les actions biologiques mettant à profit le maximum possible d'occupation du sol dans le temps et dans l'espace, et améliorant le sol donc diminuant l'érosion.

2.1. Correction mécanique

Quatre types d'ouvrage antiérosifs ont été retenus:

- * les micros barrages perméables ;
- * les billonnages cloisonnés ;
- * les seuils de correction torrentielle ;
- * levées de terre.

a- Les micros barrages perméables

Les micros barrage perméables sur simples rangées d'obstacles perméables en courbes de niveau. Ils sont installés sur les pentes fortes dans les travaux d'amélioration foncière et les parcours de montagne.

Ces ouvrages permettent de:

- ralentir le ruissellement en l'étalant en nappe de quelque centimètre d'épaisseur.
- filtrer l'eau et retiennent les paille, divers résidus organiques desséchés et flottants, d'où une fumure localisée dans la zone de sédimentation.

b- Technique du billonnage cloisonné

Elle consiste en la confection de billons parallèles aux courbes de niveau, ils seront cloisonnés par des bourrelets de terre disposés perpendiculairement aux billons.

Le dispositif doit être surveillé lors de grandes pluies, il peut donner des bons résultats sous une pluie normale.

c- Levées de terre

Ces ouvrages se combinent le plus souvent avec d'autres en vue de renforcer le système expérimental. Leur situation au niveau du bassin versant doit répondre aux critères efficacité après leur installation, ainsi ils seront situés sur de faibles pentes.

c-1- Critères de choix:

- Support de la végétation : Elle constitue une plate forme, un réservoir d'eau et un lieu privilège pour la plantation d'arbres.
- Obstacle à l'érosion : notre bassin versant présente un stade d'érosion avancé en vue de freiner ce fléau et conserver les zones les moins érodées, cet ouvrage ne peut être réalisé que sur de faibles pentes inférieures de 12,5%.

a- Le travail du sol : ce travail est à envisager sur tous les versants des DjBELS à pente forte, il s'agit de banquettes et terrasses, comme précaution supplémentaire contre la formation des ravines et l'érosion hydrique.

d- Correction torrentielle

L'aménagement des ravines, se fait par l'installation de séries de seuils en gabions qui auront l'effet de créer un atterrissement de matériaux à l'amont des seuils dont la pente est inférieure à la pente initiale du lit.

Ces ouvrages faciles à réaliser, permettront de :

- * diminuer la vitesse des eaux.
- * accumuler les sédiments.

2.2. Correction biologique

Le traitement biologique portera sur un objectif de protection et d'amélioration des sols. La méthode biologique est une prévention à long terme quand les espèces fixatrices auront un pouvoir de constituer un couvert suffisamment dense.

a- Choix et délimitation des zones à reboiser :

Les terres à reboiser sont plus ou moins dispersées dans la zone d'étude. Les reboisements retenus concernent uniquement les terres nécessitant une protection urgente et prioritaire.

Le choix des zones à reboiser est basé sur les conditions locales de la zone d'étude (Climat, Sol, Végétation).

b- Choix des espèces:

Le choix des espèces se fait des constatations faites à partir des caractéristiques de la zone.

C'est ainsi que nous avons opté pour des espèces fourragères et espèces arboricoles et forestières.

- Les espèces fourragères :

Le choix des espèces fourragères doit tenir compte de leurs exigences écologiques. L'Atriplex et l'Opuntia sont des espèces fourragères à enracinement profond, utilisée pour la protection des berges et des thalwegs

- Les espèces arboricoles :

Le choix des essences fruitières doit se faire en fonction des exigences agro climatiques des espèces et des vœux des riverains. Les espèces proposées en priorité sont les espèces rustiques telles que l'olivier, le figuier, l'amandier, le prunier, le grenadier.

- Les espèces forestières:

Le pin d'Alep (*Pinus halpensis*), le genévrier (*Juniperus phoenicea*), le chêne (*Quercus coccifera*), (*Quercus ilex*), les Eucalyptus (*Eucalyptus globulus*) , (*Oléo lentisque*)et (*Tetraclinis articulata*) sont les espèces qui semblent bien réussir dans la région de Beni-chougrane.

CONCLUSION

CONCLUSION

La présente étude s'est attachée à montrer l'apport d'un SIG pour le suivi et la quantification de l'érosion hydrique.

Les principaux résultats obtenus sont rappelés ci-dessous :

Caractères du milieu physique : Le climat est de type semi-aride, la pluviométrie varié de 200 à 500 mm/an. La lithologie comporte principalement des formations marneuses, en alternance par endroits avec des basses de grés et de calcaire. Ces formations sont très sensibles aux processus d'érosion hydrique.

On note une faible protection du couvert végétal. Le couvert temporaire (céréaliculture ...) occupe 43% de la superficie du bassin versant. Les sols nus et les parcours dégradés représentent 38% de la zone d'étude.

Approche cartographique au moyen du modèle USLE et du SIG : L'interprétation des cartes thématiques des facteurs de l'équation universelle des pertes en sol, dans le Système d'Information Géographique nous a permis d'élaborer une carte potentielle des pertes en terre à l'échelle du bassin versant de l'oued Fergoug.

Les résultats montrent que l'érosion dépasse 20 t/ha/an sur près de 70% de la superficie du bassin. La perte moyenne est de 28 t/ha/an, cette valeur correspond à une forte érosion hydrique non tolérée par les sols qui subissent un climat agressif avec des précipitations faibles mais à caractères orageux.

Ce document peut aider à établir des priorités d'interventions pour la conservation des sols. Le travail nous a permis de constituer une base de données multisources sur la région. Les informations disponibles peuvent être enrichies par la prise en compte d'autres paramètres notamment les déterminants socio-économiques pour guider le choix des secteurs d'interventions et assurer le suivi de l'aménagement.

Un important travail reste à faire pour lutter efficacement contre le phénomène érosif qui menace le pays et dont les conséquences sont de plus en plus apparentes. Pour arriver à cette fin, il est recommandé :

- d'intensifier les recherches et les études dans ce domaine ;
- d'impliquer plusieurs organismes compétents à l'échelle nationale et internationale. Ce partenariat inter-organismes est nécessaire pour renforcer le développement de ce genre d'étude ;
- de tenter de modéliser et d'adapter l'USLE en fonction des conditions propres à notre pays ; ceci n'est pas chose impossible, mais nécessite surtout un travail expérimental ;

- de profiter de l'existence d'autres outils technologiques tels que la télédétection, considérée comme une source d'information inépuisable et efficace lorsqu'il s'agit de la cartographie de l'occupation du sol. Cette outil contribuera beaucoup, du fait de ses caractéristiques, dans les études multi-temporelles et l'actualisation des bases de données ;
- développer des techniques antiérosives adaptées aux secteurs sensibles ;
- de faire participer les populations riveraines aux projets d'aménagement antiérosifs.

REFERENCES
BIBLIOGRAPHIQUES

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- AIME S., 1991.** Etude écologique de la transition entre les climats subhumide, semi-aride et aride dans l'étage thermoméditerranéen du tell Oranais, Thèse Doc Fac. Sc. Marseille –S-Jérôme :195p + annexes.
- ANAT., 1992 .** Plan d'aménagement de la wilaya de Mascara. Rapport d'orientation, 184 p. Rapport final, 167 p.
- ANB., 2004.** Bilan annuel d'exploitation des barrages (1986-2004). Agence nationale des barrages.
- ANONYME., 2001.** Report on climate services to the food production sector and to serve as liaison with CAGM. 31p.
- ARABI M. et ROOSE E., 1989.** Influence de quatre systèmes de production en zone méditerranéenne en moyenne montagne en Algérie. Bull. Réseau Erosion, N° 9, 39-51.
- ARNOLDUS H.M.J., 1980.** Methodologie used to determine the maximum potential average soil loss due to sheet and rill erosion in Morrocco, Bulletin F.A.O., 34.
- AUZET V, 1987 .** L'érosion des sols par l'eau dans les régions de grande culture (aspect agronomiques). Centre d'Etude et de Recherche Eco Géographiques (G.E.R.E.G). Université de Strasbourg.
- BARON S., 2008.** Caractérisation de l'érosion hydrique sur le bassin versant de Rouffach (Haut-Rhin, Alsace) et conséquences sur le Bassin d'Orage associé. Mém. Ing de l'ENGEES. Ecole Nationale du Génie de l'Eau et de l'Environnement de Strasbourg 101 p.
- BELGHARBI B. et SADAT H., 1994 .** Contribution à l'étude et la cartographie de l'érosion dans les monts de béni-chougrane : facteur anthropique. Thèse d'ingénieur en foresterie. Université de Tlemcen. pp 26,52-73
- BNER., 1982.** Etude de développement intégré des monts de Beni Chougrane Algérie – Rapport Tome 1, 64 p.
- BONN F., 1996.** Précis de télédétection : Applications thématiques. Presses de l'Université du Québec, vol. 2, 633p.
- BONNET D., 1983 .** Prise en compte des risques naturels en forêt de montagne : quelques réflexions dans le cas des forêts soumises des Alpes du nord. Grenoble : Cemagref. (Mémoire de 3^{ème} année ENITEF). 106p.
- BOUCHETATA A. et BOUCHETATA T., 2006.** Proposition d'aménagement du sous bassin versant de oued Fergoug (Algérie) fragilité par des épisodes de sécheresse et soumis à l'érosion hydrique. Sécheresse V 17 N° 3,415-245.
- BOUCHETATA A., 2000.** Cartographie des risques d'érosion hydrique des sols par l'utilisation du SIG . Cas du sous bassin versant de l'Oued Fergoug. Mém. Mag Ecobiologie. Centre Univ de Mascara. 120p + annexes.

- COLLET C., 1992.** Système d'information géographique en mode image. Collection gérer l'environnement, vol. 7. Presses polytechniques et universitaires romandes, 186 p.
- D.P.A.T ., 2010.** Direction de la planification et de l'aménagement de territoire. Direction de la wilaya de Mascara.
- DAGHMOUMI R., 1994.** Apport de la géologie et du SIG à l'étude des bassins versants de l'Aoudour (Rif central). Thèse 3^{ème} cycle, Univ. Mohammed V, Fac. Sci. Rabat, 162 p.
- DAHOU O. et BENTAMRA M., 1995.** Etude et quantification de l'érosion et du ruissellement au niveau des monts Béni Chougrane. Mém. Ing d'état. Centre Univ de Mascara. 117p + annexes.
- DEMMAK A ., 1982.** Contribution a l'étude de l'érosion et des transports solide en Algérie septentrionale. Thèse Doc – Ing .Paris. p323
- DEUMLICH D., FUNK R., FRIELINGHAUS M., SCHMIDT W. et NITZSCHE O., 2006.** Basics of effective erosion control in German agriculture. *J. Plant Nutr. Soil Sci.* 169 (3), 370-381.
- DIN N., 1978.** Bodenbeschaffenheit – Ermittlung der Erosionsgefährdung von Böden durch Wasser mit Hilfe der ABAG. Normenausschuss Wasserwesen im DIN, Beuth Verlag, Berlin, 25 p.
- DIODATO N. et BELLOCCHI G., 2007.** Estimating monthly (R)USLE climate input in a Mediterranean region using limited data. *Journal of Hydrology*, Volume 345, Issues 3-4, p.224-236.
- EL GAROUANI A., CHEN H. et LEWIS L., 2009.** Cartographie de l'utilisation du sol et de l'érosion nette a partir d'image satellitaires et du SIG idrisidu au nord-est maroc
- EL KARKOURI J., 2003.** Dégradation du milieu naturel dans le bassin de Beni Boufrah (Rif central-Maroc) : analyse des facteurs et des processus, essai de quantification et modélisation spatiale. These d'Etat, Univ. Mohammed V, Fac. Lett. Rabat, 392 p.
- ELSWAIFY A. et ROOSE C.W., 1988.** Analysis of erodibility of two soils tropical soils using a process model. *Soil Sci. Soc. Am. J* 52. pp 781-787.
- FAO ., 1983 .** Garder la terre en vie : L'érosion des sols, ses causes et ses remèdes. Bulletin pédologique, vol. 50, 62p.
- FAO., 1986 .** La conservation et l'aménagement des sols dans les pays en développement. Bulletin pédologique, vol. 33, 98p.
- FAO., 1976.** La conservation des sols dans les pays en voie de développement. Bulletin pédologique, vol. 30, 92p.
- FAO., 1990 .** Conservation des sols et des eaux dans les zones semi-arides. Bulletin pédologique, vol. 57, 182 p.

- FAO., 1996 .** Mesures de terrain de l'érosion et de l'écoulement des eaux de surface. Bulletin pédologique, vol. 68, 153p.
- GAY M., 1996 .** Gestion régionale des sols et sensibilité à l'érosion. Laboratoire de Télédétection et de Cartographie Numérique, Ecole Supérieure de Purpan, Toulouse, 1-8.
- GOMER D., (1994).** Ecoulement et érosion dans des petits bassins versants à sols marneux sous climat semi-aride méditerranéen. Projet pilote d'aménagement intégré du bassin versant de l'oued Mina. GTZ, Karlsruhe. Allemagne. 207p.
- GRAY JM. et MURPHY BW., 1999.** Parent Material and Soils – A Guide to the Influence of Parent Material on Soil Distribution in Eastern Australia. Technical Report N°45, NSW Department of Land and Water Conservation, Sydney.
- GRECO J., 1966.** L'érosion la Défense et la Restauration des Sols, le Reboisement en Algérie. Publication du ministère de l'agriculture et de la réforme agraire, Alger. 393p.
- HAMID T., YOUSSEF T. et DALLILA Y., 1992.** L'érosion en milieu cultivé, mesures comparatives du ruissellement et des pertes en terres sur parcelles expérimentales à Medéa. Mém.Ing UMMTO. pp :1-47.
- HEUSCH B., 1982.** Etude de l'érosion et des transports solides en zone semi-aride. Recherche bibliographique sur l'Afrique du nord. Projet RAB/80/04 PNUD.p83.
- HEUSCH B., 1970 .** L'érosion hydraulique dans le bassin de Sebou : une approche quantitative. Revue Géogr. du Maroc.
- HUTCHINSON C., 2006.** L'homme, principal acteur de la désertification. Futura-sciences. Unesco.
- KOURI L., 1993.** L'érosion hydrique des sols dans le bassin versant de l'oued Mina (Algérie). Etude des processus et types fonctionnels de ravins dans la zone des marnes tertiaires. Thèse de Doctorat de l'Université Louis Pasteur Strasbourg I, France 238 p.
- KOURI L., et GOMER D., 2010.** Analyse des processus de ravinement et détermination de la sensibilité des terrains marneux dans le Tell oranais Algérie. Revue science et changements planétaires sécheresse 2010. 28p.
- LAFLEN J. M. et MOLDENHAUER W.C., 2003 .** Pioneering soil erosion prediction: the USLE story. World Association of Soil and Water Conservation (WASWC), Special Publication no 1, 54 p.
- LITIM M. et HOCINE M., 2009.** Contribution a l'étude du phénomène d'érosion en Algérie occidentale. Mémoire ING. Spécialité: écologie végétale et environnement. Option: écosystème forestier. Université de mascara. Faculté des SNV institut de biologie. 88 p.
- MAAMAR K.K., 2012.** Etude de l'érosion des pluies et de l'érodibilité des sols dans le tell Oranais. Thèse de magister. Université d'Abdelhamid Benbadis-Mostaganem, Algérie. 108 p.
- MACARY F. et BERVILLE D., 2003.** Synthèse bibliographique : bilan des connaissances sur l'érosion et les phénomènes de ruissellement. Sinfotech,28 p.

- MAZOUR M., 1992.** Les facteurs de risque de l'érosion en nappe dans le bassin versant d'Isser. Tlemcen, Algérie. Bull. Réseau Erosion n° 12. 303-313.
- MOEYERSON S., 1989.** Etude et prévision de l'érosion des sols limoneux cultivés en moyenne Belgique, thèse présentée pour l'obtention du grade de docteur en sciences géographiques. Liège : Ulg, 1982, 356pages et annexes.
- MORGAN R., 1986.** Soil erosion et conservation. Ed: D.A. Davidson, John Wiley and Sons Inc., 253p.
- MORSLI B., 1996.** Caractérisation, distribution et susceptibilité a l'érosion des sols de montagne « cas des monts de Béni-Chougrane – Mascara ». Thèse de magistère I.N.R.F EL, Harrach. p170.
- MORSLI B., BENALOUATI B., BOUACHE M. et ROOSE E., 1988.** Erosion et aménagement conservatoire de trois micro-bassins versants dans les monts Béni Chougrane (Ain Farès-Algérie). Bilan des études et propositions d'actions en milieu paysan. 77p + annexes.
- MORSLI B. et HAMMOUDI A., 2003.** Erosion spécificité de l'agriculture de montagne : Réflexion sur la conservation et la gestion de l'eau et du sol en milieu montagneux. La forêt algérienne N°15 pp :11-15.
- NAHAL I., 1984.** Classement provisoire des terrains et remèdes pour la lutte contre la désertification en Syrie. In: Sols, INA Paris-Grignon. pp 14, 39-70.
- NEGGAZ F.Z., 2012.** Application du modèle RUSLE et du système d'information géographique pour l'évaluation du degré de sensibilité des sols à l'érosion hydrique " Cas de la zone marneuse du bassin versant de l'oued Mina". Thèse de magister. Université de Abdelhamid Benbadis-Mostaganem , Algérie. 116 p.
- ORSTOM., 1987.** Série pédologique, spéciale d'érosion. Volume n 2 1986. Édition de l'ORSTOM Institut de Recherche Scientifique pour le Développement en coopération. Paris 1987.p 252,253
- OSBORN H., SIMANTON J. et RENARD K., 1976.** Use of the Universal Soil Loss Equation in the semi-arid Southwest. Soil erosion : prediction and control. Special publication n°21, the proceedings of a National Conference on Soil Erosion, Tuscon, May 24-26, 41-48.
- PAPY F. et LE BISSONNAIS Y., 1997.** Les effets du ruissellement et de l'érosion sur les matières en suspension dans l'eau. L'eau dans l'espace rural : production végétale et qualité de l'eau. In : INRA, 411 p.
- PORNON H., 1991.** Les systemes d'information geographique : Mise en œuvre et applications. Ed. Hermès, 158 P.
- QUEZEL., 2000.** Réflexion sur l'évolution de la flore et de la végétation au Maghreb méditerranéen. Ibis press (Paris) pp 55-74.

- RANGO A. et ARNOLDUS H.M.J., 1987.** Aménagement des bassins versant . Cahiers techniques de la FAO.26 p.
- REJEB M., 1996.** Contribution à l'étude de l'érosion et de l'envasement de la retenue collinaire dans le bassin versant de Saadine 1 (Tunisie) à l'aide du système d'information géographique (SIG). Louvain : Fac. Sci. Agro., mémoire d'ingénieur master, 173 p.
- REMINI B. et HALLOUCHE W., 2007.** Studying Sediment. Revue International Water Power et Dam construction. October, 42-45.
- RENARD K.G., FOSTER G.R. , WEESIES G.A. et PORTER J.P., 1991.** Revised universal soil loss equation. J. Soil Water Conserv, 46(1), p.30-33.
- RENARD K.G., FOSTER G.R., WEESIES G.A., MCCOOL D.K. et YODER D.C., 1997.** Predicting Soil Erosion by Water: A Guide to Conservation Planning with the Revised Universal Soil Loss Equation. U.S. Department of Agriculture, Agriculture Handbook 703, 384 p.
- ROOSE E., 1994 .** Introduction a la gestion conservatoire de l'eau, de la biomasse et de la fertilité des sols (CGES). Rome 1994. ORSTOM-Montpellier, France. 245 p.
- ROOSE E., 1977.** Erosion et ruissellement en Afrique de l'ouest : vingt année de mesures en petites parcelles expérimentales ORSTOM. Paris, Travaux et Doc.N° 78, 105 p.
- ROOSE E., 1996.** Methodes, mesures, des états de surface du sol et la rugosité et des autres caractéristiques qui peuvent aider un diagnostic de terrain de risques de ruissellement et l'érosion. .Bul. Res. Eros. IRD. Montpellier. 87-9.
- ROOSE E., 2004.** Exemple de GCES en moyenne montagne méditerranéenne d'Algérie. Synthèse Sécheresse V (15) N° 1,9,18. pp : 54-66.
- ROOSE E., ARABI., BRAHMIA K., CHEBBANI R., MAZOUR M. et MORSLI B., 1993.** Erosion en nappe et ruissellement en montagne méditerranéenne Algérienne. Réduction des risques érosifs et intensification de la production agricole par la GCES : synthèse des montagnes 1984-1995 sur un réseau de 50 parcelles d'érosion. Cahier ORSTOM, série pédol, XXVIII N°.PP : 289-308.
- SADIKI E., 2005.** Estimation des taux d'érosion et de l'état de dégradation des sols dans le bassin versant de l'oued Boussouab, Maroc nord oriental : application du modèle empirique (USLE), de la technique du radio-isotope ¹³⁵Cs et de la susceptibilité magnétique. Thèse Doctorat d'Etat. Université Mohamed Premier, Oujda, 320 p.
- SADIKI E., BOUHLASSA S., AUJAR J., FALLEH A. et MACAIRE J., 2004.** Utilisation d'un SIG pour l'évaluation et la cartographie des risques d'érosion par l'Equation universelle des pertes en sol dans le Rif oriental, Maroc ; cas du bassin versant de l'oued Boussouab, Bulletin de l'Institut Scientifique Section Sciences de la Terre N°26 (2004) p.69-79.
- SELTZER., 1946.** Le climat de l'Algérie. Carbonnel. 219p.

SOUIDI Z., 2000. Application de la télédétection et des systèmes d'information géographique pour l'aménagement des terres de montagnes. Cas des monts Béni Chougrane (Mascara). Thèse de magister. Université de Abou Bakr Belkaid de Tlemcen Algérie. 163 p.

TALBI O., 1997. Apport des systèmes d'information géographique au suivi et à la quantification de l'érosion hydrique par l'équation universelle des pertes de sol. Thèse de magister. Centre National des Techniques Spatiales d'Arzew –Oran, Algérie. 103 p.

TEMPLE P. et RAPP A., 1972. Landslides in the MGETA area, Western Uluguru mountains Tanzania. In: Studies of Soil erosion and Sedimentation in Tanzania. Rapp, Berry et Temple (eds.), Geografiska Annales, 54(3): 157-194.

TOPPER E., MOLLEN A. et KUYPERS H., 1985. La défense des sols contre l'érosion sous tropiques. Agrodok-series N°11,61p+ annexes.

TOUAIBIA B. et ACHITE M., 2003. Contribution a la cartographie de l'érosion spécifique du bassin versant de l'oued Mina en zone semi-aride de l'Algérie septentrionale. Journal des sciences hydrologiques (48) 2, p.235-242.

TOURE M., 2004. Cours de CES pour les ingénieurs de l'équipement rural et de l'agronomie Ouagadougou Burkina Fasso.

VIGUIER J.M., 1993. Mesure et modélisation de l'érosion pluviale. Application au vignoble de Vidauban (Var). Thèse de doctorat : Université Joseph Fourier, Grenoble, 335 p.

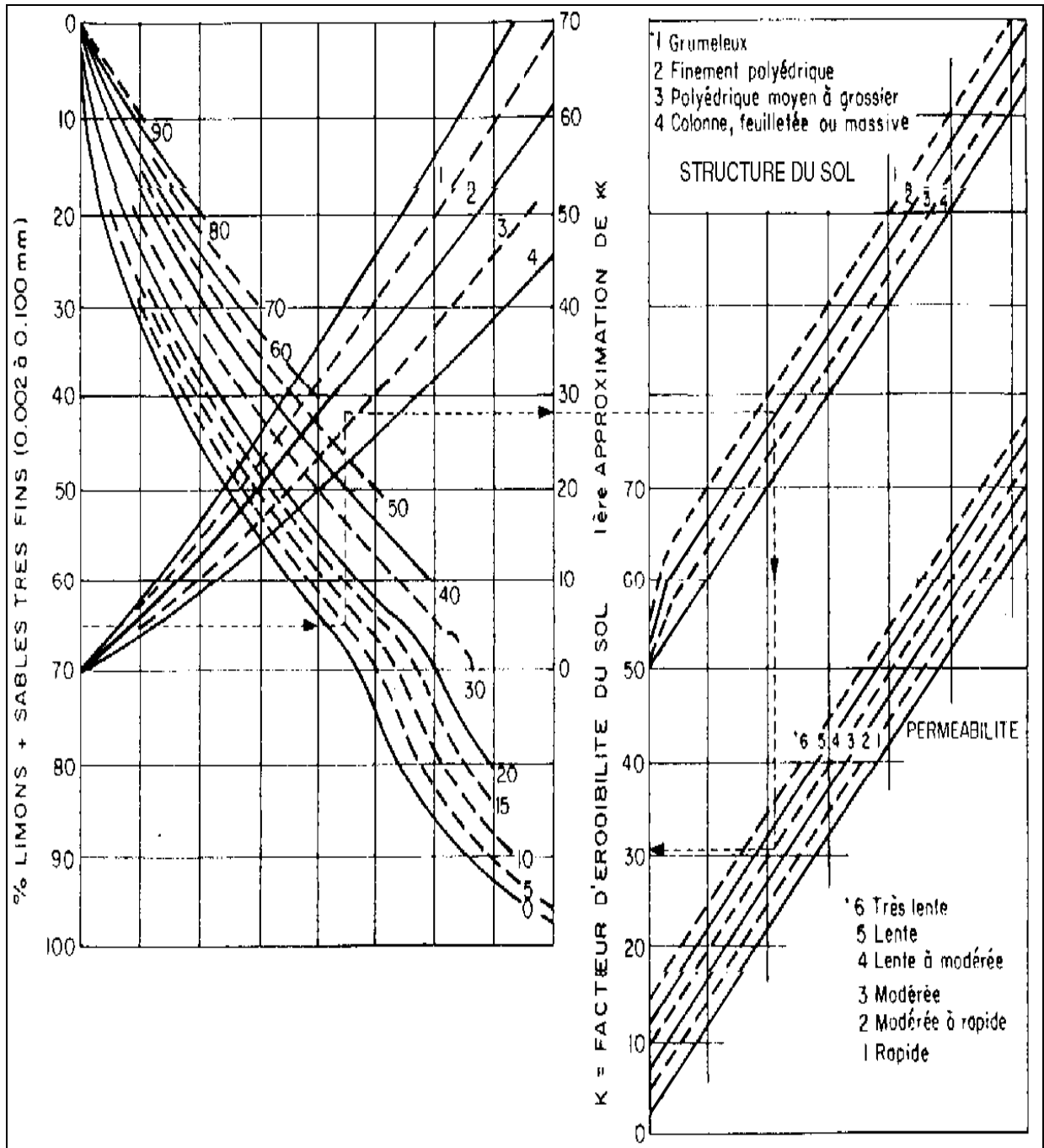
WILLIAMS J.R., 1975. Sediment-yield prediction with Universal Equation using runoff energy factor. Present and Prospective Technology for Predicting Sediment Yield and Sources. U.S. Dept. Agric. ARS-S-40,p.244-252.

WISCHMEIER W.H. et SMITH D.D., 1960. A universal soil loss estimating equation to guide conservation farm-planning. Proc. 7th Intern Congress on Soil Science, vol I, p.418-425.

WISCHMEIER W.H. et SMITH D.D., 1978. Prediction rainfall erosion losses, a guide to conservation planning Science. U.S. Dept. Agriculture. Agric. Handbook 537, 60

ANNEXES

Annexe 1: Nomographe permettant une évaluation rapide du facteur "K" d'érodibilité des sols (d'après Wischmeier, Johnson et Cross, 1971)



Annexe 2 : Types de Socle Rocheux et de matériels meubles selon l'USDA - Texture générale et texture détaillée.

Grand type	Sous type	Type détaillé	Texture générale	Texture détaillée
dépôt meuble	Indéterminé	Dépôt meuble à texture fine	Fine	A
		Dépôt meuble à texture modérément fine	Fine	ALi
		Dépôt meuble à texture moyenne	Modérément fine	LA
		Dépôt meuble à texture modérément grossière	Modérément grossière	LS
		dépôt meuble à texture grossière	Grossière	S
		Dépôt meuble très grossier	très grossière	Gr
		Dépôt meuble matériel organique	Organique	O
		Indéterminé	Moyenne	L
roche plutonique	roche plutonique	Indéterminé	modérément fine	LAS
	Felsique	Indéterminé	modérément fine	LiLA
		Granite	Modérément grossière	LS
		Diorite quartzitique (tonalite)	modérément fine	LiLA
		Syénite (mangérite)	Modérément grossière	LS
	Intermédiaire	Granodiorite	Modérément grossière	LS
		Monzodiorite et monzogabbro feldsp	Moyenne	LLi
		(Indéterminé)	Modérément grossière	LS
		Monzonite	Modérément grossière	LS
		Diorite	Modérément grossière	LS
	Mafique	(Indéterminé)	modérément fine	LiLA
		Monzosyénite	modérément fine	LiLA
		Gabbro	modérément fine	LiLA
		Anorthosite	modérément fine	LiLA
	Ultramafique	(indéterminé)	modérément fine	LiLA

		Dunite	modérément fine	LiLA
		Péridodite	modérément fine	LiLA
		Pyroxenite	modérément fine	LiLA
Roche Volcanique	(Indéterminé)	(Indéterminé)	modérément fine	LiLA
	Felsique	(Indéterminé)	Moyenne	L
		Rhyolite	modérément fine	LiLA
		Dacite	Modérément gros	LS
		Andésite Quartzitique	modérément fine	LiLA
		Obsidienne	Fine	Ali
	Pyroclastites	pierre ponce	Grossière	S
	Felsique	Trachyte	Modérément gros	LS
	Pyroclastites	Tuf pyroclastique (ignimbrite)	Modérément fine	LiLA
	Intermédiaire	(Indéterminé)	Moyenne	L
		Latite	Fine	AS
		Trachyandésite	Modérément gros	LS
		Andésite	Modérément fine	LiLA
	Mafique	(indéterminé)	Modérément fine	LiLA
		Basalte	Modérément fine	LiLA
		Phonolite	Modérément fine	LiLA
		Téphrite	Modérément fine	LiLA
	Pyroclastites	Scorie	Moyenne	LLi
		(indéterminé)	Modérément fine	LiLA
		Brèche volcanique	Modérément gros	LS
Roche sédimentaires	(Indéterminé)	(indéterminé)	Moyenne	L
	Détritique	(indéterminé)	Moyenne	L
		Brèche sédimentaire	Grossière	Gr
		Conglomérat	Modérément gros	LS
		Grès et Gauwacke	Grossière	SL
		Arkos	Modérément gros	LS
		pelite gréseuse	Modérément gros	LS
		Shale (schiste argileux)	Modérément fine	LA
		Grès calcaire ou marneux	Grossière	SL
		Flysch	Modérément grossière	LS
		Molasse	Modérément	LS

			grossière	
	chimique et biogénique	Marnes gypseuses	Modérément fine	LA
		(indéterminé)	Moyenne	L
		Bauxite	Fine	A
		Diatomite	Modérément fine	LA
		Dolomie	Modérément fine	LA
		Gypse	Modérément fine	LA
		Halite	Modérément fine	LA
		Calcaire	Fine	A
		Marnes	Modérément fine	LA
		Formation marno-calcaire	Modérément fine	LA
		Formation calcaire/calcaire marneux	Fine	L
		Formation marno-gréseuse	Modérément fine	LA
		Evaporite (gypse et dolomie principal)	Modérément fine	LA
		Silex et Chert	grossière	SL
Chimique	Tuf calcaire	fine	A	
Roche métamorphique	(Indéterminé)	(indéterminé)	Moyenne	L
		Amphibolite	Modérément fine	LiLA
		Gneiss	grossière	SL
		Marbre	fine	Ali
		Quartzite	grossière	SL
		Shiste	organique	LLi
		Serpentinite	modérément fine	LiLA
		Ardoise et phyllade	fine	Ali

Annexe 3 : Table des classes texturales détaillées des sols (USDA) et Shirazi et al, 2001.

texture générale	code de texture détaillée	Texture détaillée	sable très fin (%)	Sable (%)		Limon (%)		Argile (%)	
Fine	A	Argile	6	20	19.87	20	19.6	60	60.76
	Ali	Argile limoneuse	2	6	6.84	47	47.17	47	45.98
	AS	Argile Sableuse	5	51	51.84	5	7.21	44	40.95
Modérément fine	LA	Loam Argileux	11	33	32.5	33	34.6	34	32.94
	LiLA	Loam argilo-limoneux	4	10	10	56	57.06	34	32.9
	LAS	Loam argilo-sableux	9	60	60.11	13	13.54	27	26.36
Moyenne	Li	Limon	4	8	7.58	87	87.82	5	4.6
	LLi	Loam limoneux	9	20	21.64	65	65.9	15	12.45
	L	Loam	14	41	41.21	41	41.07	18	17.72
Modérément grossière	LS	Loam sableux	15	65	64.52	25	26.01	10	9.46
Grossière	SL	Sable loameux	10	82	81.53	12	13.17	6	5.3
	S	Sable	6	90	91.71	6	5.39	4	2.89
Très grossière	Gr	Gravier	2	20	-	2	-	0	-
organique	O	Organique	0	0	-	0	-	0	-

Shirazi et al,

USDA

Annexe 4 : Table du coefficient de la couverture végétale (C) en fonction du type de couvert végétale

Grand type de couverture des terres	Sous type de couverture de terres	Facteur c	Taux probable de matière organique
Céréalière, fourragère et oléagineuse	Non différenciée	0.7	0.2
Agriculture maraichère (légume, tubercules)	En serre	0.1	2
	traditionnelle	0.5	2
Prairie et pâturage (parcours)	Naturelle	0.03	1
	Anthropique	0.05	1
Arboriculture	Non différenciée	0.4	2
Matorral	Non différencié	0.07	0
Maquis et garrigue	Ouvert < 20% de couvert ligneux)	0.06	1
	Moyennement dense 20 - 60 %	0.03	1
	Dense > 60%	0.02	1
Plantation forestière résineuse	Faible densité < 50%	0.04	1
Forêt feuillue	Faible densité < 50%	0.04	1
Forêt feuillue	Moyennement dense 50 - 75 %	0.02	1
Forêts résineuse	Faible densité < 50%	0.04	1
	Moyennement dense 50 - 75 %	0.02	1
	dense > 75 %	0.005	2
Sans végétation	Sol nu dégradé	0.9	0.2
	Jachère	0.9	0.2
Agglomération	Peu à faiblement boisées	0.08	0.2

Annexe 5 :Taux de matière organique attendu selon le type du couvert végétal

Couvert végétal	Classe du % en matière organique	Moyenne
Agriculture céréalière et fourragère	0 à 0,5	0,2
Agriculture maraîchère	>1,5	1
Arboriculture	>1,5	2
Plantation forestière résineuse < 50% de couvert	0,5 - 1,5	1
Forêt feuillue < 50% de couvert	0,5 - 1,5	1
Forêt feuillue 50 à 75% de couvert	0,5 - 1,5	1
Forêt résineuse < 50% de couvert	0,5 - 1,5	1
Forêt résineuse 50 à 75% de couvert	0,5 - 1,5	1
Forêt résineuse > 75% de couvert	>1,5	2
Maquis et garrigue ouverte 20-60% de couvert	0,5 - 1,5	1
Prairie et pâturage naturel	0,5 - 1,5	1
Prairie et pâturage anthropique	0,5 - 1,5	1
Matorral dégradé	0,5 - 1,5	1
Jachère	0 - 0,5	0,2
Affleurement rocheux	0 - 0,5	0,2
Sol nu dégradé	0 - 0,5	0,2

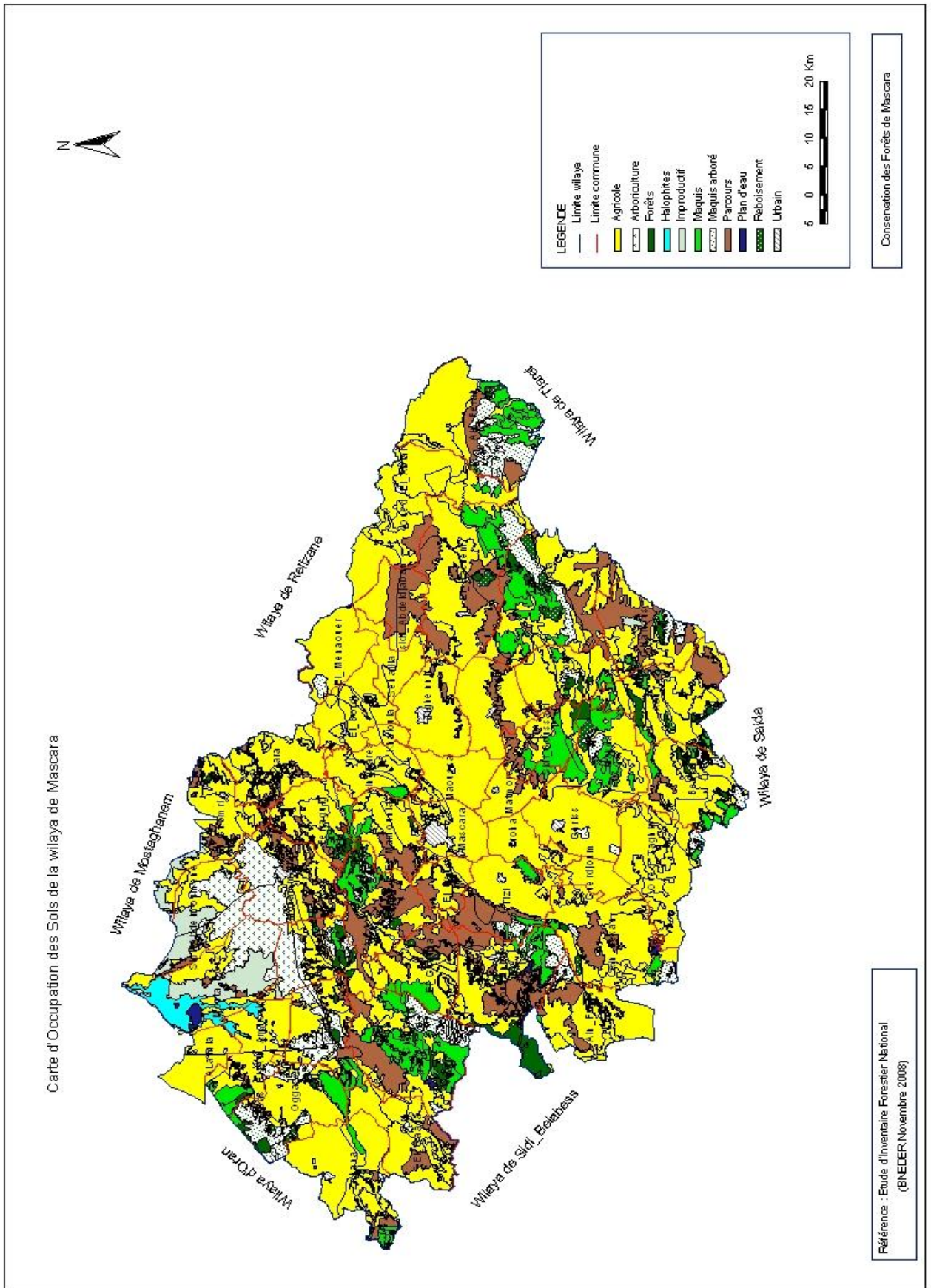


Figure 4.2 : Occupation des terres de la wilaya de Mascara (BNEDER 2008).

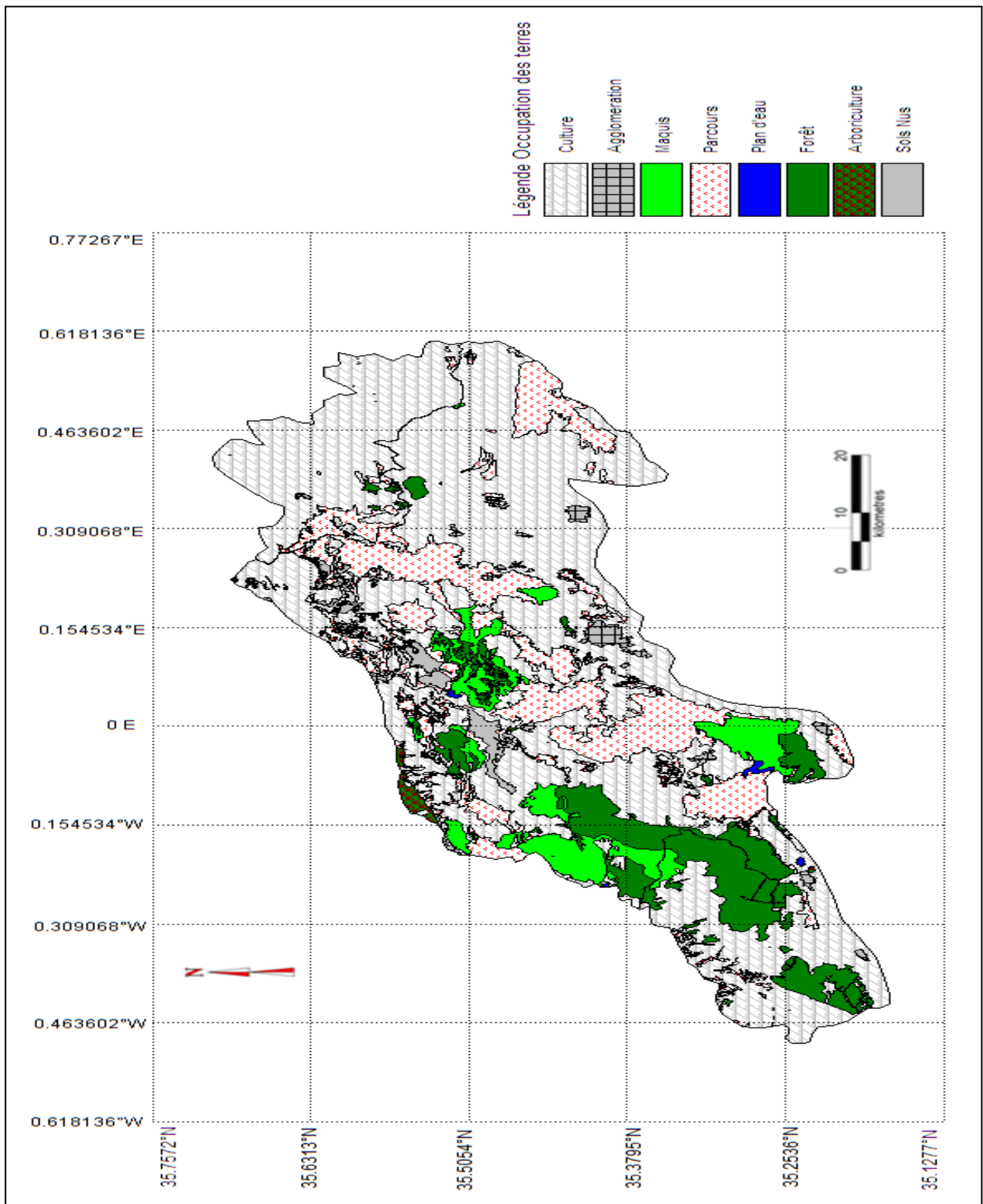


Figure 4.3: Occupation des terres des Monts de Béni Chougrane (BNEDER 2008).

Photo 1 - Badlands dans les monts de Beni Chougrane, près de Mascara (Algérie). [cliché : B. MORSLI]



Photo 2 - Ravinement sur terrain marneux dans la région de Mascara (Algérie). [cliché : B. MORSLI]

