

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

Université Abdelhamid Ibn
Badis-Mostaganem
Faculté des Sciences de la
Nature et de la Vie



جامعة عبد الحميد بن باديس
مستغانم
كلية علوم الطبيعة و الحياة

DEPARTEMENT D'AGRONOMIE

MÉMOIRE DE FIN D'ÉTUDES

Présenté par :

BELKALEM Abdelkader

Pour l'obtention du diplôme de

MASTER EN AGRONOMIE

Spécialité

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

THÈME

**Evaluation des risques d'érosion hydrique: cas du
bassin versant de l'Oued Kramis (Algérie)**

Soutenu publiquement le **21 /06/ 2017**

Jury de soutenance :

Nom et Prénom	Grade	Qualité	Appartenance administrative
BOUALEM Abdelkader	M.C (B)	Président	U.M.A.B
HADDAD Ahmed	Professeur	Promoteur	U.M.A.B
BEN CHETTOUH Ahmed	M.A (A)	Co-promoteur	U.M.A.T
HARTANI Ahmed	M.A (A)	Examineur	U.M.A.B

Année Universitaire : 2016/2017

Remerciements

Merci tout d'abord à Dieu, Tout puissant qui nous a donné la santé pour entreprendre ce modeste travail.

Nous remercions très sincèrement toute notre famille de son soutien combien très important durant la préparation de ce travail.

Nous exprimons notre immense gratitude et notre grand respect à Monsieur Benfetta Hassan Noureddine, notre Directeur de mémoire qui a bien voulu nous encadrer, correcteur infatigable, rigoureux dans le travail, toujours disponible et conseillé avisé, je n'aurais guère assez de mots pour lui transmettre toute ma reconnaissance.

Nos vifs remerciements vont à Mr. Benzater .B qui nous fait l'honneur de présider le jury de notre soutenance.

Nous remercions également les membres de jury Messieurs : Mr Elouissi .A Mr Boukhari .Y, Mr. Gliz .M qui ont accepté d'examiner notre travail.

Nous remercions chaleureusement tous nos enseignants d'Agronomie, le personnel de la bibliothèque et l'ensemble du personnel de l'ANRH d'Oran, d'Alger et ANB barrage de Bouhanifia pour leur entière collaboration.

Enfin, nous tenons à exprimer nos sincères remerciements à tous nos amis pour leurs encouragements et les étudiants de 5ème année Agronomie promotion 2013.





Dédicaces

*A L'aide De Dieu J'ai Pu Réaliser Ce Modeste Travail
Que Je Dédie :*

*À ma mère qui a été pour moi un appui dans tous les domaines,
Au cours de ma vie, et qui m'a dirigé sur la vie de l'espoir et de la
persévérance.*

*A mon père Les mots me manquent pour t'exprimer toute
Ma reconnaissance. J'ai toujours trouvé auprès de toi, compréhension
et soutien.*

À mon frère

À toute la famille Belkalem .

À toutes mes sœurs chaqu'une par son nom.

À mes meilleures amies surtout Azzedine

*A la promotion master gestion conservatoire des eaux des sols et de
l'environnement 2016/2017.*

*À mes collègues de l'agronomie
et à tous ceux qui ont participé dans l'établissement
de mon mémoire de fin d'étude.*

*A L'aide De Dieu J'ai Pu Réaliser Ce Modeste Travail
Que Je Dédie :*

*À ma mère qui a été pour moi un appui dans tous les domaines,
Au cours de ma vie, et qui m'a dirigé sur la vie de l'espoir et de la
persévérance.*

*A mon père Les mots me manquent pour t'exprimer toute
Ma reconnaissance. J'ai toujours trouvé auprès de toi, compréhension
et soutien.*

À mes frères

À toutes mes sœurs chaque une pars sont nom.

À toute la famille KHETTAL .

À mes meilleures amies

*A la promotion master gestion conservatoire des eaux des sols et de
l'environnement 2016/2017.*

*À mes collègues de l'agronomie
et à tous ce qui ont participé dans l'établissement
de mon mémoire de fin d'étude.*

Amine



Tableau de Matières

Dedicaces	
Remerciements	
Liste des figures	
Liste des plancher	
Liste des tableaux	
Introduction generale	
3. 1.1. Les Grés	6
3.1.2. Les calcaires	6
3.1.3. Les marne	6
3.1.4. Miocène	7
3.1.5. Pliocène	7
3.1.6. Crétacé	8
3.1.7. Diphonie	8
3.1.8. Trias	8
4. Contexte biophysique	8
4.1. Matériel et méthodes	8
4.1.2. Délimitation du bassin versant au moyen du MNT	8
4.1.3. Modélisation des paramètres physiographiques du bassin versant	9
4.1.4. Extraction de quelques aspects hydro-morphologiques montrant	9
4.2. Résultats de la modélisation physiographiques	10
4.2.1. Profil topographique du bassin versant	11
4.2.2. L'hypsométrie	12
4.2.3. Reliefs	13
4.2.4. Carte des pentes	15
4.2.5. Réseau hydrographique	17
4.2.6. Lithologie	18
5. Contexte climatique	19
5.1. Pluies	19

Tableau de Matières

5.2. Températures	24
5.2.1. Synthèse bioclimatique	26
5.2.2. Le quotient pluviothermique et les étages bioclimatiques d'Emberger	26
5.2.3.1. Grille d'interprétation	28
5.2.4. Le diagramme Ombrothermique de Bagnouls et Gausson (1953)	28
6. CONCLUSION	29
Chapitre II: Aperçu bibliographique sur l'érosion hydrique	
1. Définition de l'érosion	30
2. Facteurs de l'érosion hydrique	30
2.1. Le climat	30
2.2. La végétation	30
2.3. L'utilisation des terres	30
2.4. La topographie	31
2.5. Les sols	31
2.6. La lithologie	31
3. Processus d'érosion	31
3.1. Le détachement	31
3.2. Le transport	33
3.3. La sédimentation	33
4. Les formes de l'érosion hydrique	33
4.1. Erosion en nappe	33
4.2. Érosion linéaire	34
4.3. Érosion en masse	35
5. Conséquences de l'érosion hydrique	35
5.1. Les conséquences dans la zone de départ des sédiments (on-site effects)	35
5.2. Les conséquences sur les lieux de dépôt (off-site effects)	35
6. Les modèles empiriques de perte en sol	36

Tableau de Matières

6. 1. Méthode de quantification et de prévision des taux d'érosion hydrique	36
7. Les techniques d'analyse spatiale	38
7.1. Définition de la Télédétection	38
7.2. Utilité de la Télédétection	38
7.3. Domaines de la Télédétection	39
8. Définition d'un SIG	40
8.1. Les composantes d'un SIG	40
8.2. Les fonctionnalités d'un SIG	40
8.3. Les domaines d'application de SIG	41
Chapitre III:Matériel et Méthodes	
1. Données utilisées	42
2. La Méthodologie adoptée	43
2.1. Le modèle RUSLE	43
2.1.1. L'érosivité des pluies (R)	44
2.1.2. L'érodibilité du sol K	46
2.1.3. La topographie LS	48
2.1.4. L'occupation des sols	50
2.1.4. Le facteur P	54
Chapitre IV:Résultats et discussion	
1. L'estimation des pertes en sol	55
2. Conclusion	



Remerciement

Merci tout d'abord à Dieu, Tout puissant qui nous a donné la santé pour entreprendre ce modeste travail.

Nous remercions très sincèrement toute notre famille de son soutien combien très important durant la préparation de ce travail.

Nous exprimons notre immense gratitude et notre grand respect à Monsieur Haddad Ahmed et Benchatouh Ahmed notre Directeur de mémoire qui a bien voulu nous encadrer, correcteur infatigable, rigoureux dans le travail, toujours disponible et conseillé avisé, je n'aurais guère assez de mots pour lui transmettre toute ma reconnaissance.

Nous remercions également les membres de jury et tous nos enseignants du master gestion conservatoire des eaux, des sols et de l'environnement

Nous remercions chaleureusement tous nos enseignants d'Agronomie, le personnel de la bibliothèque et l'ensemble du personnel de conservatio du forêts du Mostaganem pour leur entière collaboration.

Enfin, nous tenons à exprimer nos sincères remerciements à tous nos amis pour leurs encouragements et les étudiants de 2^{eme} année master Agronomie promotion 2017.

Liste des tableaux

Liste des tableaux

Tableau 1	principales caractéristiques physiographiques du bassin versant de l'oued Kramis	10
Tableau 02	Caractéristiques physiographiques des sous bassins versants de la zone d'étude	14
Tableau 03	Surface des orientations des reliefs	16
Tableau 04	Les classes de pente du bassin de l'oued Kramis	17
Tableau 05	lithologie	19
Tableau 06	Caractéristiques des stations pluviométriques	21
Tableau 07	Pluviométrie moyenne interannuelle de la zone d'étude (1994/95 - 2015/2016)	23
Tableau 08	Températures moyennes interannuelles (°C) de la station de Sidi Mhamed Benali	26
Tableau 09	L'indice bioclimatique d'Emberger, L. (d'après Stewart, 1969)	29
Tableau 10	L'indice de De Martonne	
Tableau 11	Formes de l'érosion linéaire	35
Tableau 12	Domaines de la Télédétection	40
Tableau 13	Les domaines d'application de SIG	42
Tableau 14	Caractéristiques spectrales et spatiales des images traitées du capteur Landsat 4-5 <i>Thematic Mapper (TM)</i>	54
Tableau 15	Caractéristiques spectrales et spatiales des images traitées du capteur Landsat 8 <i>Operational Land Imager (OLI)</i> et <i>Thermal Infrared Sensor (TIRS)</i>	55
Tableau 16	Répartition de différentes classes de R en fonctions de leurs surfaces correspondantes	56
Tableau 17	les principales catégories texturales de la zone d'étude.	58
Tableau 18	La topographie LS de la zone d'étude.	61
Tableau 19	Occupation des sols	54
Tableau 20	Les classes des pertes de sol du bassin versant de l'oued Kramis	56
Tableau 21	Les catégories de classification des pertes de sol et leurs surfaces correspondantes de la zone d'étude	57

Liste des planches

Liste des planches

Planche 1	Rejaillissement du sol et de l'eau suite à l'impact d'une goutte d'eau, ou effet splash d'après Le Bissonnais et al., 2002	33
-----------	--	----

Liste des figures

Figure 1	Localisation de la zone d'étude	4
Figure 2	Profil du cours d'eau principal du bassin versant de l'oued Kramis	11
Figure 3	Courbe hypsométrique de l'oued Kramis	12
Figure 4	carte hypsométrique du bassin versant de l'oued Kramis	13
Figure 5	Carte d'exposition des versants	14
Figure 6	Carte des pentes en pourcentage du bassin de l'oued Kramis	16
Figure 7	Réseau hydrographique du bassin versant de l'oued Kramis	17
Figure 8	Surfaces d'influence des stations pluviométriques	20
Figure 9	Précipitations moyennes mensuelles de la station de Sidi Mhamed Benali	22
Figure 10	Coefficient d'abattement (Ki)	23
Figure 11	L'indice de Desfontaines	24
Figure 12	Régime thermique interannuel de la station de Sidi Mhamed Benali	26
Figure 13	Le diagramme Ombrothermique	28
Figure 14	Organigramme méthodologique de l'intégration de l'Equation universelle de perte de sol dans le SIG	44
Figure 15	L'érosivité de pluie R de la zone d'étude	46
Figure 16	Carte d'érodibilité du sol de la zone d'étude	47
Figure 17	La topographie LS de la zone d'étude	49
Figure 18	l'NDVI de la zone d'étude	51
Figure 19	Le facteur C de la zone d'étude	52
Figure 20	la carte d'occupation du sol	53
Figure 21	Carte des pertes de sol de la zone d'étude	56
Figure 22	les zones des prioritaires	58

Liste des abréviations

FAO	Food and Agriculture Organisation (Organisation des Nations Unies pour l'Agriculture et l'Alimentation)
cm	Centimètre.
m	mètres
MNT	modèle numérique de terrain
SIG	Système d'Information Géographique.
UTM	Universal Transverse Mercator (Transverse universelle de Mercator)
%	Pour cent.
m ³	mètres cubes.
Landsat	Land satellite.
TM	Thematic Mapper ()
SRTM V	ersion 3 (Shuttle Radar Topography Mission),
(KG)	Indice de compacité de Gravelius
Longueur	(L)
(I _g)	Indice de pente global
(D _s)	Dénivelée spécifique
(D _d)	Densité de drainage
MNT30	Modèle Numérique de Terrain, résolution 30 mètres.
SBV	Les sous bassins versants
h	heures
moy	moyenne
max	Maxima maximales
min	Minimales
mm	millimètres.
K _i	Coefficient d'abattement de la pluie
°C	Degré Celsius
°K	Kelvin
USLE	: Universal Soil Loss Equation (Equation universelle de perte en terre)
MUSLE	Modified Universal Soil Loss Equation (Equation universelle de perte en terre modifiée)
RUSLE	Revised Universal Soil Loss Equation (Equation universelle de perte en terre révisée)
ha	hectare
I ₃₀	Intensité maximale de la pluie de durée de 30 minutes
n	le nombre de stations pluviométriques.
S _i	: surface d'influence de chaque station pluviométrique (km ²).
S	surface totale de la zone d'étude (km ²).
n	le nombre de stations pluviométriques.
S _i	: surface d'influence de chaque station pluviométrique (km ²).
S	surface totale de la zone d'étude (km ²).
n	le nombre de stations pluviométriques.
P _i (mm)	pluviométrie moyenne interannuelle de chaque station (mm).

Liste des abréviations

t	tonnes.
PIR	Proche Infra Rouge.
NDVI	L'Indice de Végétation Différence Normalisée
(MFI)	l'indice de Fournier modifié
(RMS).	la racine carrée de la moyenne des erreurs
t	tonnes.
NIR	Proche Infra Rouge.
WGS84	World Geodetic System 1984.
km	Kilomètre
MJ	Mégajoules.
an	Année
T°	Température
EPFL	Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne

Introduction générale

Introduction

L'érosion résulte de la dégradation des couches superficielles de la couverture pédologique et du déplacement des matériaux le constituant (Antoni et al. 2006). Elle résulte du détachement, sous l'effet de l'énergie cinétique des gouttes de pluie, et du transport des particules du sol de leur emplacement initial par l'eau. Ce phénomène dégrade la qualité des eaux, la fertilité des sols et réduit la capacité des réservoirs (Toumi, 2013). Lorsque le montant de la perte en sol est examiné à travers le monde, on voit que de nombreux pays ont souffert de l'érosion des sols. Environ 90 % des terres cultivées aux États-Unis connaissent le phénomène des pertes en sol. Cette perte est estimée entre 5 et 12 t / ha / an (Pimentel et al. 1995). La zone méditerranéenne a la réputation d'être sujette à des risques érosifs très élevés (Jose et al. 2012).

En Algérie, environ 6 millions d'hectares sont exposés à une érosion active. L'érosion spécifique varie entre 20 et 40 t/ha/an (Morsli et al. 2012). L'Algérie est parmi les pays du Bassin Méditerranéens qui connaissent un énorme déficit hydrique. Pour pallier à ce problème, l'Etat a mené une politique de grande hydraulique consistant en la création d'infrastructures telles que les barrages. Cependant, les ouvrages hydrauliques localisés dans le nord de l'Algérie, s'ensavent à un rythme rapide (Ministère des Ressources en eau, 2015). Le potentiel hydraulique perd annuellement 30 millions de m³. La quantité de sédiments déposée dans les 110 barrages que détient l'Algérie est estimée à 650.106 m³, soit un taux de comblement de 14,5 % en 2000 (Kouri et Gomer, 2010).

Dans la partie nord-ouest du pays, en particulier la région du Tell oranais, (Kouri et Gomer, 2010), nous observons que le taux de sédimentation a évolué ces dernières années. Cette évolution est due au processus de l'érosion hydrique à l'échelle des bassins versants où l'érosion touche environ 47 % de l'ensemble des terres. Dans ces régions montagneuses, l'érosion hydrique est un problème majeur, son intensité varie d'une zone à l'autre (Benchettouh et al. 2017), elle devient, en effet, néfaste sur la fertilité des terres agricoles et la potentialité en eau dès qu'elle dépasse le seuil tolérable (Toumi, 2013).

Le bassin de l'oued Kramis d'une surface de 302 Km² se situe dans la partie Nord-Ouest de l'Algérie. Il fait partie du grand bassin versant de Côtiers Algérois. A l'aval de ce bassin versant, le

Introduction générale

barrage de l'oued Kramis a été construit et mis en service en 2004 pour une capacité de rétention 45 millions m³.

Le but de ce travail consiste à intégrer un modèle prédictif de l'érosion afin de localiser les zones prioritaires pour d'éventuelles interventions d'aménagement hydro-agricoles et de conduite culturale dans une région méditerranéenne qui est particulièrement encline aux procédés d'érosion. Les mesures bathymétriques effectuées au niveau du lac de barrage en 2014 a été prises en considération pour pouvoir tourner le modèle prédictif adopté.

Plusieurs modèles multidisciplinaires ont été développés pour étudier les processus érosifs. Parmi les modèles de la prédiction de l'érosion les plus répandus est celui de l'équation universelle des pertes en terre USLE (Wischmeier et Smith, 1978) et sa version Révisée RUSLE (Foster, 2004). Cet outil est utilisé largement dans le bassin Méditerranéen (e.g. De Paola et *al.* 2013 ; Borrelli et *al.* 2013 ; Panagos et *al.* 2014 ; Benchettouh et *al.* 2017). Il permet d'hiérarchiser la surface d'un bassin versant en unités distinguées selon la vulnérabilité à l'érosion hydrique et de déterminer les zones les plus fragiles potentiellement pourvoyeuses de sédiments (Sadiki et *al.* 2012). Ce modèle se base sur une cartographie thématique des facteurs de l'érosion, notamment l'érosivité des pluies (R), l'érodibilité des sols (K), la topographie (LS), l'occupation des sols (C) et les pratiques de conservation des sols (P).

Ainsi, ce travail a été subdivisé en quatre chapitres:

I- Etude physique du milieu.

II- Aperçu bibliographique sur l'érosion hydrique.

III- Matériel et Méthodes.

IV- Résultats et discussion.

Chapitre I

1. Introduction

Le bassin versant est le cadre générale de toute étude d'hydrauliques (Furusho, 2008). La connaissance des caractères topo-physiographiques d'un bassin versant est une étape indispensable à toute étude relative à l'environnement (Benchettouh, 2012).

Le développement des techniques modernes d'acquisition de mise en disposition d'information digitale par le biais du modèle numérique de terrain (MNT) et des données satellitaires multi-dates a rendu possible la caractérisation physiographique et bioclimatique d'un bassin versant. Ces informations servent de plus en plus à la description des caractéristiques du milieu et à la cartographie numérique.

Le Tell oranais a été le siège de plusieurs travaux antérieurs dans le cadre de lutte contre l'aléa érosif (Kouri, 1993 ; Touaibia, 2001 ; Benchettouh et al. 2017).

Afin de mettre en lumière les processus d'érosion dans le bassin versant de l'oued Kramis, une étude préliminaire basée sur la modélisation de ses caractères physiographiques et climatiques.

Le présent travail consiste à réaliser des cartes thématiques à l'aide des données satellites (MNT et images satellites) intégrées dans un environnement SIG, pour étudier les caractéristiques physiographiques (carte de localisation de la zone d'étude, carte hypsométrique, carte des pentes et des expositions, carte hydrographique, carte lithologique,... etc) et bioclimatiques (carte d'occupation des sols, cartes des isohyètes des pluies... etc) du bassin versant de l'oued Kramis.

2. Localisation de la zone d'étude

Le bassin de l'oued Kramis se situe dans la partie Nord-Ouest de l'Algérie. Il fait partie du grand bassin versant de Côtiers Algérois. D'une superficie de 302 km² et d'une forme allongée, le bassin versant de l'oued Kramis est encadré par le massif montagneux du Dahra au Nord, et par les monts de Taougrite et Chaabnia à l'Est. Au sud, il est limité par les monts nord de la plaine de Chélif.

Oued Kramis se situe entre les latitudes Nord de $36^{\circ} 16' 00''$ et $36^{\circ} 6' 30''$ et les longitudes Est de $0^{\circ} 39' 30''$ et $0^{\circ} 56' 30''$ (Projected Coordinate System: Nord_Sahara_1959_UTM_Zone_31N) (Figure. 1).

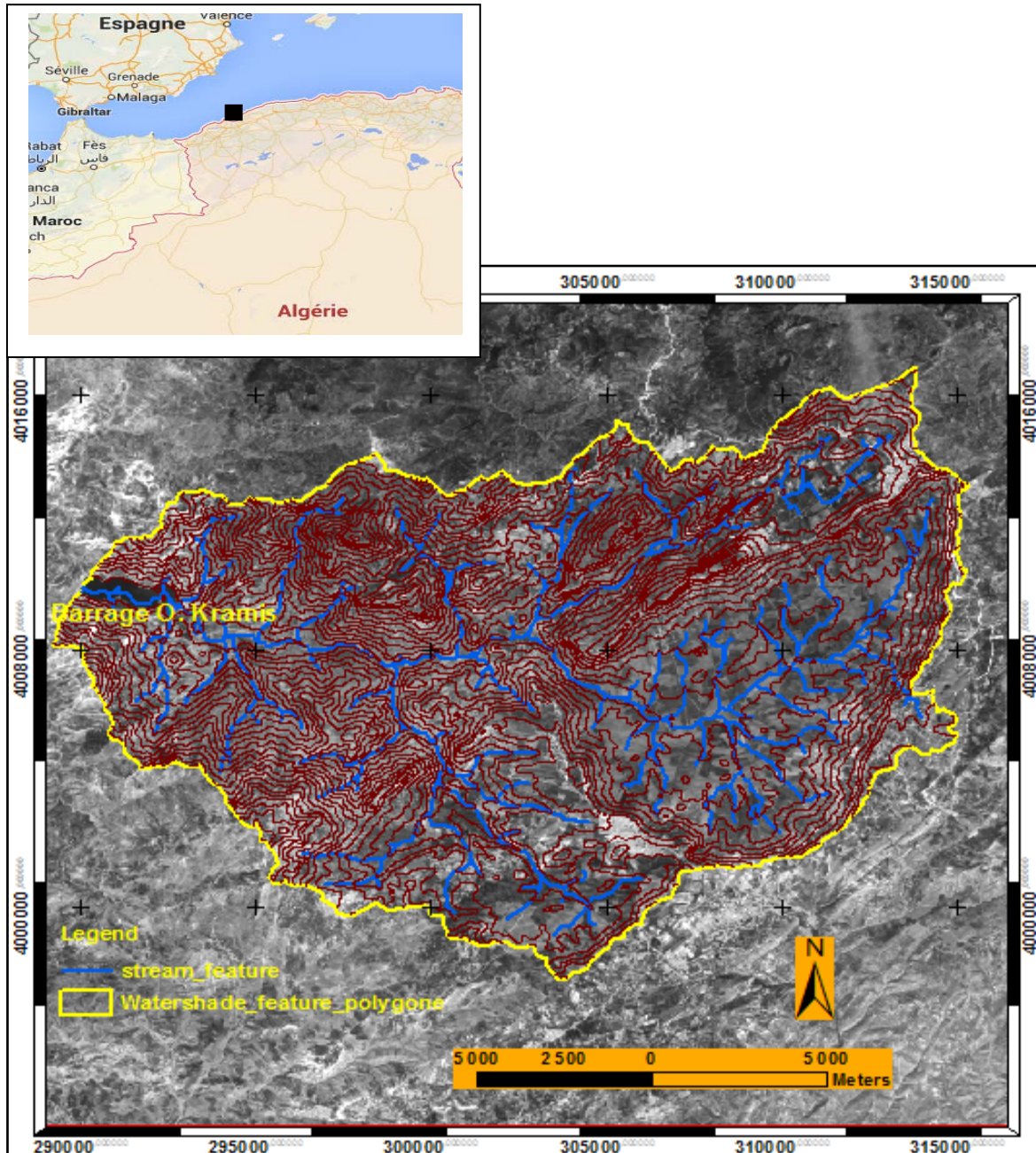


Figure 1 : Localisation de la zone d'étude

L'altitude, variant entre 757 m et 63 m, décroît de l'Est vers l'Ouest avec une élévation moyenne de 379 m. Le relief est très contrasté, constitué de plateaux entaillés et de versants raides, seuls 30.8 % de la surface sont occupées par des plaines d'une activité agricole importante. Ces plaines sont limitées au Nord par les monts de Taougrite, les monts de Chaabnia à l'Est, et ceux d'Ain Merane au Sud et les monts de Sidi Mhamed Benali à l'Ouest. Le cours d'eau de l'oued Kramis prend sa source dans les monts de Chaabnia à l'Est pour confluer avec la plaine d'Achaacha au Nord après un parcours de 32.5 km.

Vu son importance socioéconomique, le bassin versant de l'oued Kramis, est doté en aval d'un barrage d'eau d'une capacité de 45 Millions m³. Ce barrage a été mis en service en 2004 qu'il doit répondre aux besoins d'approvisionnement en eau potable à une population totale de 90 579 habitants appartient aux villes situées en aval dont : Achaacha, Nekmaria, Khadra et Ouled Boughanem, ainsi aux besoins agricoles par le développement de l'irrigation sur un périmètre de 4 300 hectares situés dans la plaine de Achaacha.

3. Géologie de la zone d'étude

L'information géologique a été prise de la carte géologique à l'échelle 1/500000 de l'Oued Kramis et de l'étude réalisée par (Caltechnika, 1975) portant sur le reboisement industriel.

Le rapport géologique consulté indique que les formations rocheuses présentes dans la région sont composées de grés carbonatés en surface, d'argile, de calcaire et de marnes en profondeur. La vallée du bassin versant du barrage Kramis est formée par des bancs de sable fin à moyens limoneux.

Des alluvions sableuses sont présentes dans le lit d'Oued et des dunes à l'embouchure.

La carte géologique consultée indique que la zone d'étude est recouverte de roches sédimentaires, plutoniques.

La carte géologique consultée distingue plusieurs types de dépôts quaternaires alluvions (actuelles, récentes, anciennes), les colluvions, les éboulis, les dunes ainsi que les sable.

3.1. Principaux types de substrat rencontré au niveau de zone d'étude

Nous rencontrons huit types de substrat

3. 1.1. Les Grés

Leur décomposition donne des sables qui sont facilement transportés par les eaux de ruissellement et le vent, pour aller se déposer sur les terrains à faibles pentes.

Nous rencontrons deux types de grés sur le périmètre.

Grés à ciment calcaire : sa désagrégation est très facile par H₂O des pluies + CO₂ → dissolution du calcaire.

Grés à ciment siliceux : sa désagrégation est lente vu que la silice est inaltérable.

3.1.2. Les calcaires

Roches plus souvent compactes, constituées essentiellement de carbonate de calcium. leur décomposition est liée à la dissolution de calcium par les eaux de pluie chargées de CO₂.

Leur dissolution laisse un résidu argileux (argile de décalcification) qui sera entraîné par les eaux de ruissellement. Comme la plus grande partie de calcaire est dissoute, il ne se forme pas ou peu de sol.

Seules les variations de température, le gel, l'action de désagrégation des racines peut un calcaire cohérent en cailloutis.

Les sols formés sur calcaire sont le plus souvent pierreux et sans profondeur. Ce sont des sols riches en élément utilisables par la plante, ils se réchauffent vite et sont plus secs.

Les terrains présentant une alternance avec les marnes donnent des sols de meilleure qualité.

3.1.3. Les marne

Les terrains développés sur substrat marneux se prêtent mieux à la forêt. Leur décomposition donne des argiles formant des terrains lourds profonds suivant leur situation, ce sont des sols imperméables, froids, sujettes à l'érosion linéaire et en masse.

Elles se dessèchent très vite, deviennent durs et crevassées.

Elles donnent des sols peu favorables aux essences forestières dont les racines se déchirent avec la présence de fente de retrait, une fois le sol desséché.

Calcaire marneux : ce mélange présente un substrat plus cohérent, mais sur les terrains en pente facilement emportés par les eaux de ruissellement, les argiles ont tendance à se détacher des bandes calcaires qui apparaissent sous formes de colluvions caillouteuse très importantes.

3.1.4. Miocène

Le miocène inférieur marin, burdigalien, est formé d'une épaisse série monotone d'argile et de marines bides, souvent rubanées, parfois sableuses ou limoneuses. L'étage se termine par un complexe argilo-détritique formé d'une alternance de marnes et de grès grossiers, l'épaisseur de la série peut atteindre de 500 à 600 m.

Le miocène supérieur marin, vindobonien, les formations médianes sont représentées par des couches des marnes bleues, entrecoupées des marnes sableuses, de cierites, de marno-calcaire et localement d'argiles bentonitiques la partie supérieure et constitué par une série de grès calcaire fossilifères que l'on voit passer littéralement aux calcaires à lithothamnées, l'épaisseur de la série peut atteindre de 500 à 800 m.

3.1.5. Pliocène

Le pliocène continental et villafranchien forment une série continental rouge, les sables et les grès faibles alternent avec l'argile, les limons et les poudingues et conglomérats, calcaire lacustres et argile à lignite.

Le pliocène marin-astien, série marine finement détritique sableuse ou gréseuse, les grès peu argileux, sauf la partie inférieure, sont le plus souvent à ciment calcaire et peuvent localement passer à des calcaires gréseux, les grès astiens sont des grès calcaire plus ou moins consolidés, de couleur jaune fauve, localement de couche de sable quartzuse à grain fins.

3.1.6. Crétacé

Inferieur marin, marnes et argile grés, schisteuses avec couches de grés quartzitiques et avec nodules fer érugineux, moins fréquemment avec couche de calcaires dures, grés foncé, puissance de m environ.

3.1.7. Diphonie

Ce résultat de chargement des couches rocheux, est représenté sous forme couche de calcaires dures.

3.1.8. Trias

Sont des argiles ou marnes bigarrés plus ou moins gypseuses et salées.

4. Contexte biophysique

4.1. Matériel et méthodes

Le principe de ce travail est basé sur une succession des étapes permettant l'élaboration des cartes thématiques de la zone d'étude.

L'une des applications principales de programme SIG est la représentation cartographique d'une unité topographique et le stockage des informations des objets géographiques avec leurs attributs numériques.

4.1.2. Délimitation du bassin versant au moyen du MNT

Dans notre étude une scène multi spectrales (7 canaux d'une couverture nuageuse nulle ; could cover = 0) Landsat_5 Thematic Mapper (TM) de Path_197/Row_035 (Landsat Scene Identifier: LT51970352006295MPS00) acquise le 22/10/2006 après deux ans de la mise en service du barrage de l'oued Kramis a été utilisée comme outil pour pouvoir positionner le point aval du bassin versant (la digue du barrage). Ces images sont fournies par le site <http://earthexplorer.usgs.gov/>, au format Geotif. Le modèle numérique d'élévation en format SRTM Version 3 (Shuttle Radar Topography Mission), de N36E00 obtenu sur le site: <http://srtm.csi.cgiar.org/SELECTION/inputCoord.asp>. a été utilisé comme source de donnée numérique pour la création d'un model numérique de terrain MNT.

Toutes ces données sont intégrées et analysées dans un environnement SIG pour cartographier les caractères physiographiques et bioclimatiques du milieu d'étude.

4.1.3. Modélisation des paramètres physiographiques du bassin versant

Les données numériques d'élévation obtenues sont introduites et analysées au moyen du kit spatial analyst tools intégré dans l'ArcGIS 10.2 afin de délimiter le bassin versant et ses sous bassins drainés par les différents cours d'eau existants. Deux principaux modèles : hydrology et conditional existants dans le kit Spatial analyst tools ont été utilisés avec ses applications: fill, flow direction, flow accumulation et con. Ces différentes étapes sont effectuées en premier lieu pour déterminer le réseau hydrographique qui draine l'ensemble du bassin versant. Ensuite les deux applications Stream Order et Stream to future dans le modèle hydrology ont été utilisées. En fin, le bassin versant et ses sous bassins sont délimités en fixant l'exutoire des oueds qui drainent le bassin versant de notre région d'intérêt en appliquant l'outil Watershed.

En outre les applications citées ci-dessus, le kit Spatial analyst tools génère automatiquement autres données complémentaires semblent indispensables dans notre études. Les couches obtenues selon les caractéristiques physiographiques voulus sont des données superposables dans le SIG pixel par pixel.

4.1.4. Extraction de quelques aspects hydro-morphologiques montrant l'effet de l'érosion hydrique dans le bassin versant de l'oued Kramis

En ce qui concerne l'extraction de quelques aspects hydro-morphologiques montrant l'effet de l'érosion hydrique dans le bassin versant de l'oued Kramis, nous avons utilisé une série des images pluriannuelles selon leur disponibilité sur le site Web auparavant cité. La saison d'été durant la période qui s'étale entre 2006 et 2016 a été choisie, durant laquelle nous cherchons d'avoir une couverture nuageuse nulle. La scène multi-spectrale de Path_197/Row_035 a été utilisée. La classification orienté-oqssxample Based Feature a été choisie afin d'évaluer l'évolution spatiotemporelle de lac du barrage.

La densité de drainage est considérée comme paramètre clé dans l'aléa érosif. A cet effet, le MNT de la région d'intérêt a été intégré dans l'environnement SIG (ArcGIS 10.2) en utilisant des outils du modèle hydrology.

4.2. Résultats de la modélisation physiographiques

Les résultats obtenus dans cette étude par ArcGis sont résumés dans le tableau 02 ; il englobe les principales caractéristiques physiographiques du bassin versant de l'oued Kramis.

Tableau 02 : principales caractéristiques physiographiques du bassin versant de l'oued Kramis

Superficie du bassin versant (Km ²)	302
Périmètre du bassin versant (Km)	103,3
Le plus long talweg (Km)	32.5
Indice de compacité de Gravelius (KG)	1,7
Longueur du rectangle équivalent (L)	46,2
Largeur du rectangle équivalent (l)	6,5
Altitude max (m)	757
Altitude min (m)	63
Elévation moyenne (m)	380
Altitude à 5% de la superficie du bassin (m)	624
Altitude à 95% de la superficie du bassin (m)	157
Indice de pente global (Ig)	10,10
Dénivelée spécifique (Ds)	175.51
Densité de drainage (Dd) (Km/Km ²)	3,7

4.2.1. Profil topographique du bassin versant

A l'aide du logiciel ArcGis 10.2, le profil topographique de l'oued Kramis a été extrait à partir du MNT30 de la zone d'étude (Figure 02). A 63 m d'altitude se situe le barrage de l'oued Kramis sur le principal oued qui rejoint le long de son parcours quelques affluents secondaires drainant les différents sous bassins versants cités dissous. A 32.5 km de parcours entre un point d'altitude plus de 350 m situé sur les monts de Taougrite, l'oued Kramis et ses affluents alimentent le barrage de l'oued Kramis situé en l'aval du bassin versant sur une altitude de 63 m.

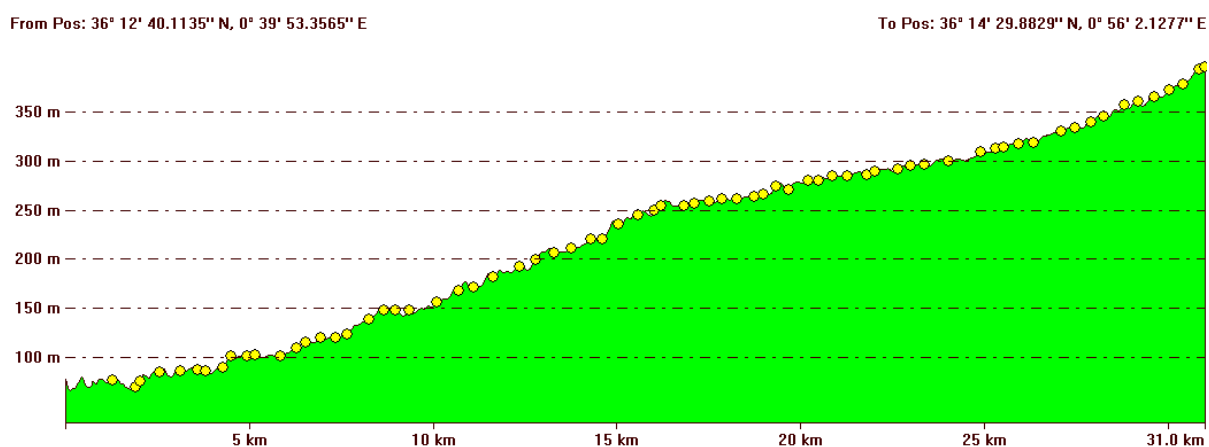


Figure 02 : Profil du cours d'eau principal du bassin versant de l'oued Kramis

4.2.2. L'hypsométrie

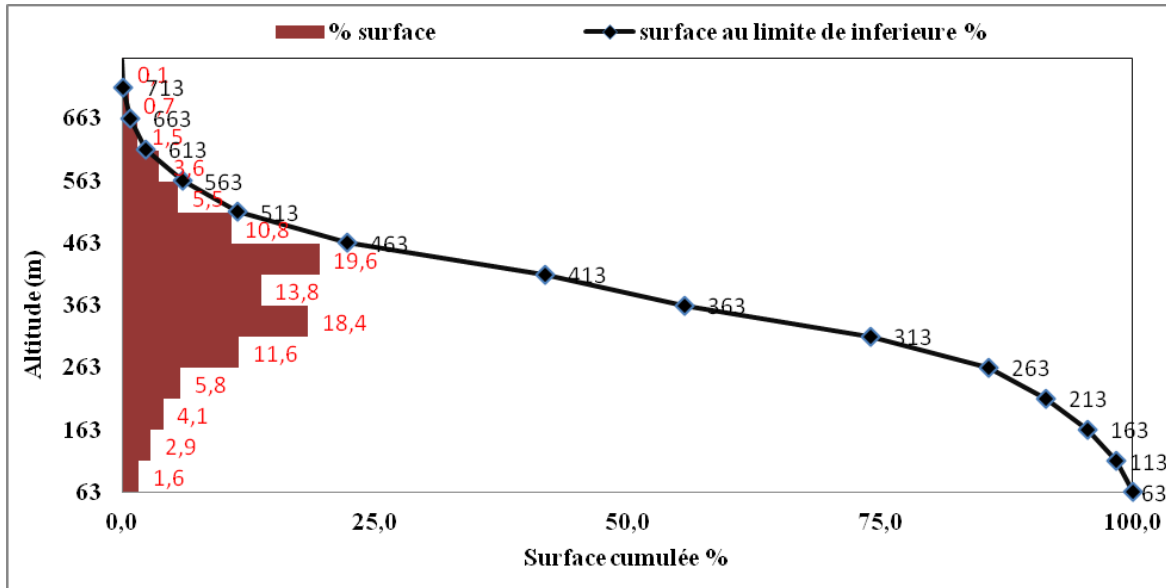


Figure03 : Courbe hypsométrique de l'oued Kramis

La figure 03 représente la courbe hypsométrique du bassin versant de l'oued Kramis et les tranches d'altitude en fonction de leurs surfaces. La dénivelée maximale des terres, de même que celle des terres à 5% et 50% d'altitude, reflète la présence d'un massif montagneux car elles atteignent plus de 624 m et 156.6 m respectivement. De ce fait, la majorité du nord-est (Taougrite, Dahra) et du sud (Sidi Mhamed Benali et Mediuona) de la région d'étude est caractérisée par des reliefs relativement accidentés couvrant une surface de 49.6% de la zone d'intérêt. En amont, les terres sont caractérisées par des reliefs plats qui représentent en majeure partie des vallées à activité agricole importante. Dans la partie avale du bassin versant de l'oued Kramis, les versants qui la constituent présentent des pentes douces mais avec certaine aspérité des reliefs.

L'hypsométrie consiste à joindre les points d'égales altitudes ; dans le cas où elles sont rapprochées la pente est raide et lorsqu'elles sont éloignées, la pente est faible et le terrain a un aspect plat.

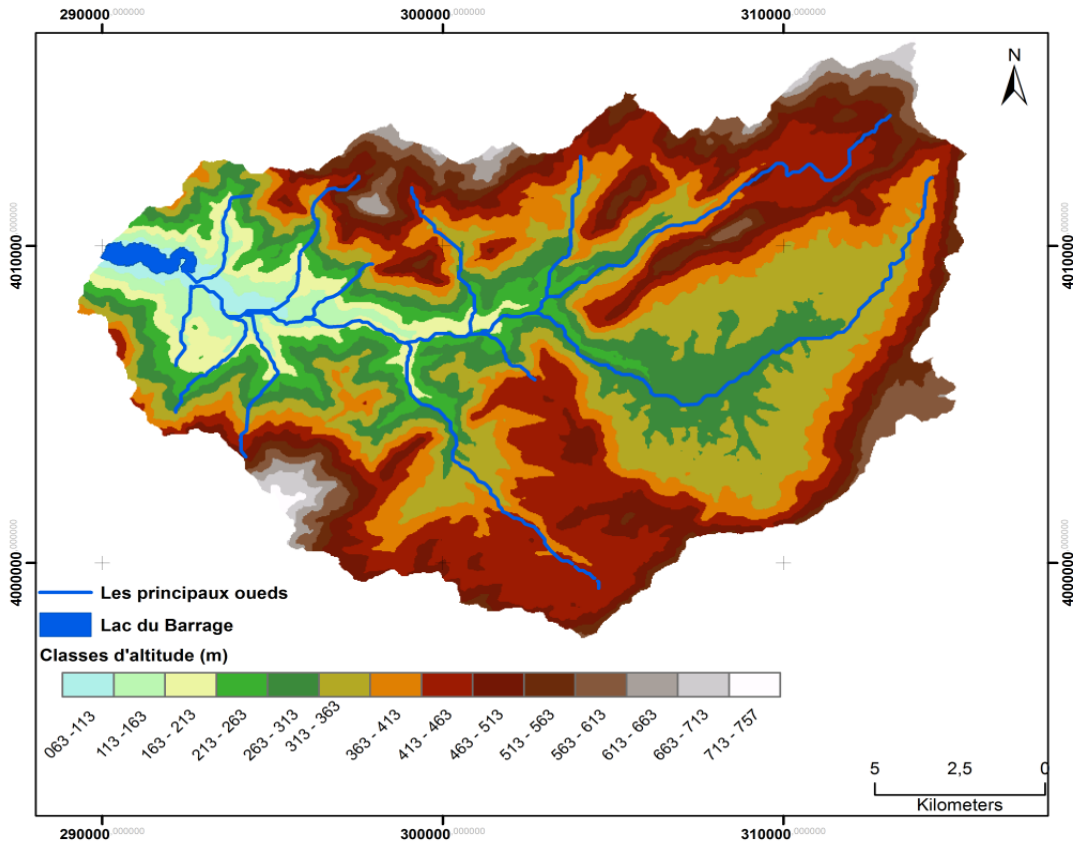


Figure 04 : carte hypsométrique du bassin versant de l'oued Kramis

Les courbes de niveaux de notre zone d'étude ont été extraites à partir du MNT30 intégré dans le logiciel ArcGIS 10.2 au moyen de l'outil surface dans le kit Spatial analyst tools. D'après la figure 04, on déduit que, la partie amont du bassin versant est caractérisée par des courbes de niveaux bien écartés, tandis que, la partie médiane et celle de l'ouest de la zone d'étude sont caractérisées par des courbes de niveaux bien serrés ce qui explique que ces régions sont caractérisées par des pentes raides.

4.2.3. Reliefs

Le phénomène de l'érosion hydrique sur le plan spatial d'une région donnée varie d'un secteur à un autre. Comme nous l'avons dit, cette variabilité spatiale est liée beaucoup plus au facteur relief. Le relief des marnes tertiaires du Tell oranais est très morcelé. Les profondes entailles en V sont généralement plus raides en exposition Sud qu'en exposition Nord (Gomer,

1994). Cette asymétrie est due à des différences de pédogénèse, de météorisation et d'ablation selon l'exposition (Gomer, 1994).

L'influence de l'orientation des versants est déterminée par l'intermédiaire des facteurs tels que la durée d'ensoleillement, l'état hydrique du sol et la direction des vents (notamment ceux qui sont dominants). Huit classes sont considérées (Nord, Nord-Est, Est, Sud-Est, Sud, Sud-ouest, Ouest et Nord-Ouest).

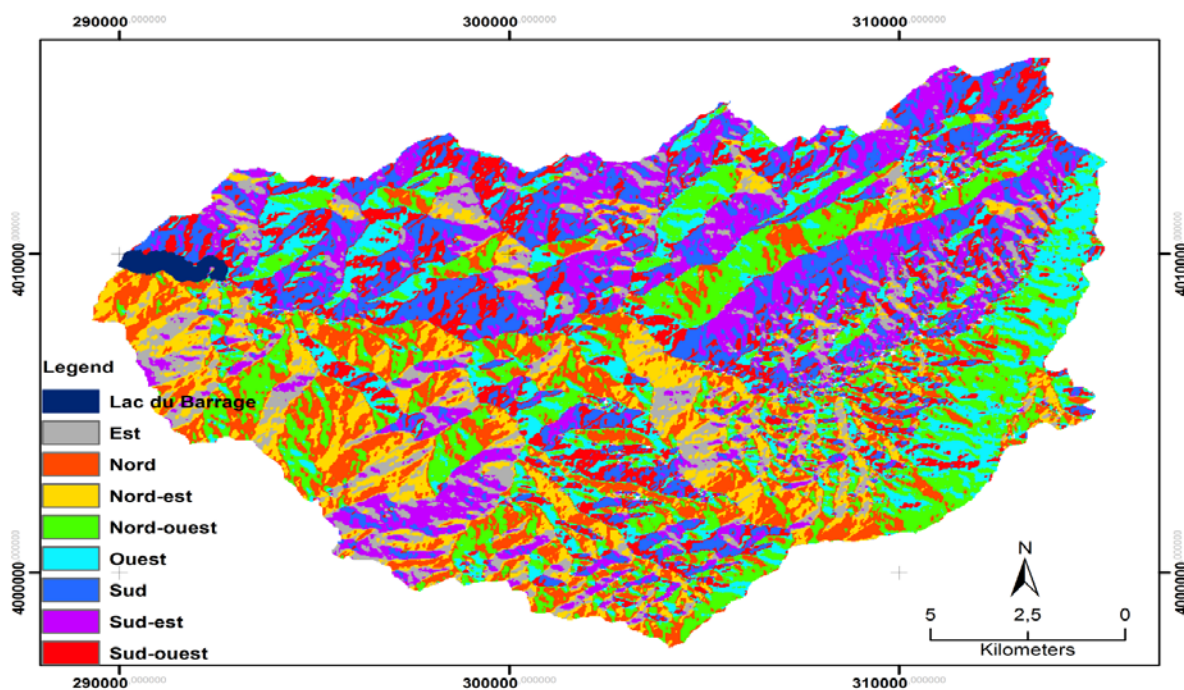


Figure 05 : Carte d'exposition des versants

La carte d'exposition des versants (figure 06) élaborée en intégrant le MNT30 de la zone d'étude dans un environnement SIG (ArcGIS 10.2) traité sous l'outil surface/aspect dans le kit Spatial analyst tools permet de déterminer l'orientation des versants avec leurs pourcentages. Ainsi, l'exposition des reliefs est dominée principalement par l'orientation nord-ouest (15.6 % de la surface de la zone d'étude) (tableau 04).

Tableau 04: Surface des orientations des reliefs

Orientations	Surface	
	Km ²	%
Nord	41,6	13,8
Nord-est	30,3	10,0
Est	27,6	9,1
Sud-est	41,7	13,8
Sud	42,2	14,0
Sud-ouest	33,8	11,2
Ouest	37,5	12,4
Nord-ouest	47,2	15,6
Total	302	100,0

Les reliefs de la zone des marnes tertiaires présentent une légère asymétrie. En effet, les versants à exposition Nord ont un pourcentage de surface supérieur à ceux (27,2%) du Sud (22,7%), ainsi que les versants à exposition Ouest avec un pourcentage (32,2%) supérieur à celui exposition est (17,9%).

4.2.4. Carte des pentes

La carte des pentes donne la topographie générale de la région d'étude. D'après la classification de Dimitrios et al (2013), la grande partie (92.1%) de la zone d'étude est caractérisée par des pentes modérées (entre 5% et 15%) à très modérées ($\leq 5\%$). La majeure partie de ces deux classes des pentes se situe exclusivement dans la partie amont. Au niveau du barrage et du réseau hydrographique, les pentes deviennent faibles avec un relief plat (figure 07).

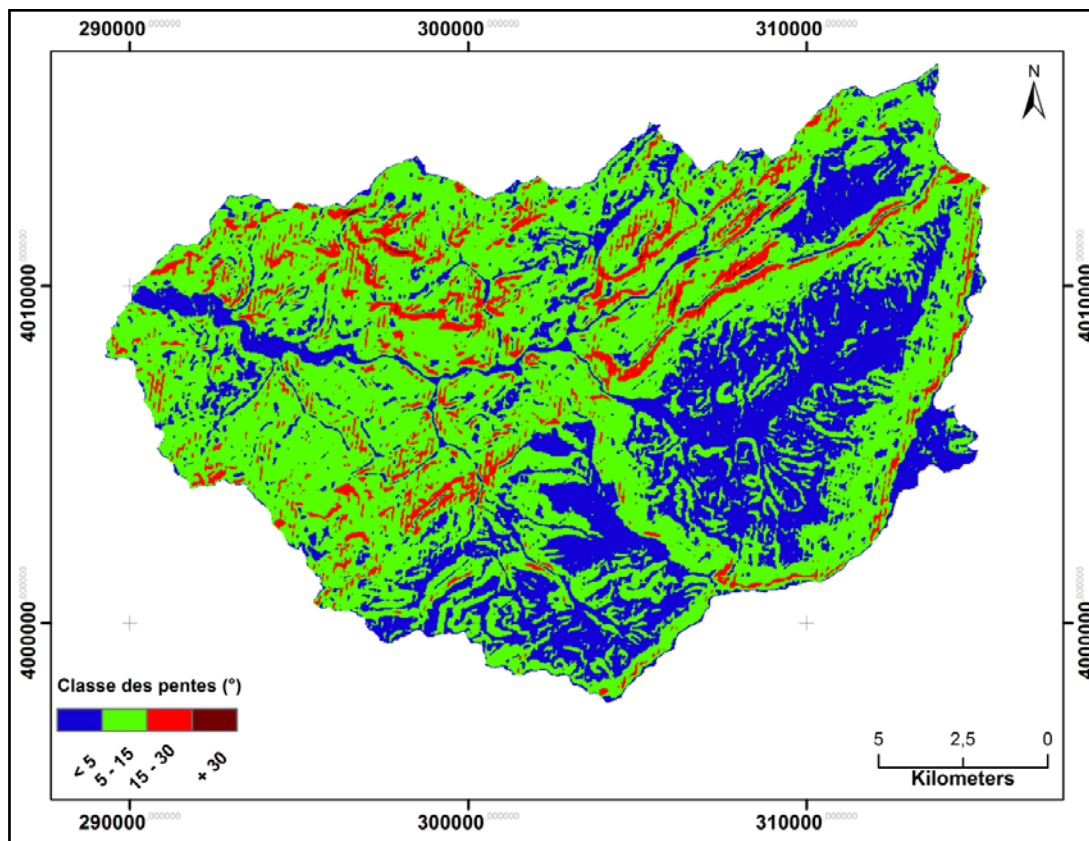


Figure 06 : Carte des pentes en pourcentage du bassin de l'oued Kramis

Tableau 05 : Les classes de pente du bassin de l'oued Kramis

Classe des pentes (%)	Surfaces	
	Km ²	%
< 5	92,5	30,6
5 - 15	185,8	61,5
15-30	23,4	7,8
+ 30	0,2	0,1
Total	302	100

4.2.5. Réseau hydrographique

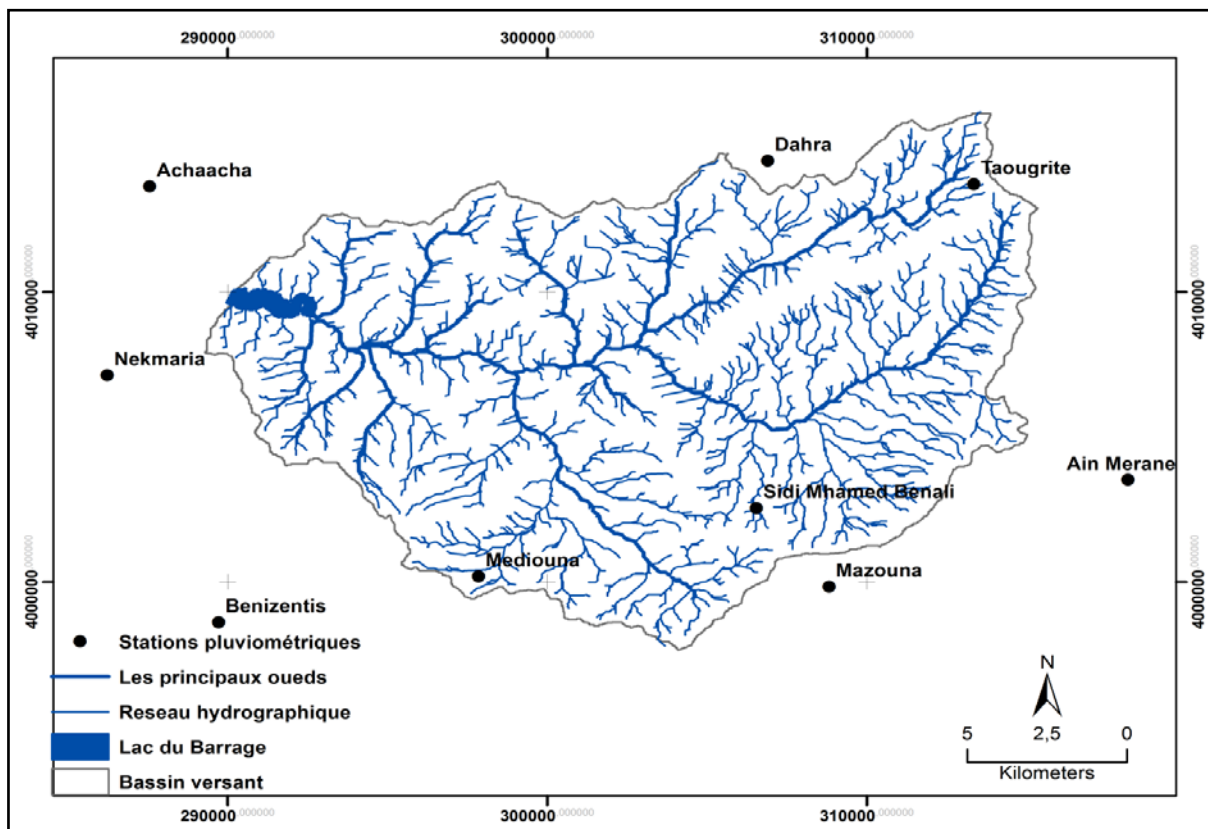


Figure 07 : Réseau hydrographique du bassin versant de l'oued Kramis

La carte du réseau hydrographique montre que le chevelu hydrographique de la région d'étude permettant l'identification des cours d'eau. A sa lecture, le réseau hydrographique du bassin de l'oued Kramis draine une superficie de 302 km² comprise depuis les monts de Dahra au Nord et ceux de Taougrite au nord-est jusqu'au lac du barrage. Les principaux affluents de la rive droite du bassin versant prenant naissance à partir des montagnes de Taougrite, Dahra et Sidi Moussa et se déversant dans l'oued Kramis. Alors ceux qui sont de la rive gauche du bassin versant prenant naissance à partir des monts de Sidi Mhamed Benali, de Mediouna et de Nekmaria. Ils se déversent dans l'oued Kramis prenant une direction d'écoulement du sud vers le nord. D'une façon générale, et d'après la figure 08, la zone d'étude présente un réseau hydrographique assez dense 3.7 km/km². Ce qui montre une activité importante de l'aléa érosif, en particulier à l'échelle du secteur sud-ouest de la zone d'étude.

4.2.6. Lithologie

La lithologie joue un rôle important sur le ruissellement, l'infiltration, l'érosion et le transport solide. Les matériaux géologiques se distinguent en formations meubles (sables, argiles, marnes) ou en formations consolidées (grés, calcaires, dolomies,...) (Toumi, 2013).

La carte lithologique du bassin versant de l'oued Kramis a été obtenue par la méthode de classification orienté objet après avoir intégré l'image satellitaire acquise le 05/05/2014. Cette dernière a été traitée par le logiciel ENVI 5.1 en utilisant l'outil *Feature Extraction/Example Based Feature*. Le tableau 06 figure les différentes classes lithologiques des sols de la zone d'étude.

Tableau 06 : La lithologie de la zone d'étude

La lithologie	Surface	
	Km ²	%
Sol alluvionnaire	26,3	8,7
Marnes brunes	125,5	41,6
Terrain calcaire	39,6	13,1
Sol rouge	14,5	4,8
Sol rouge calcaire	26,8	8,9
Marnes bleue compacte	37,4	12,4
Marnes vertes	20,1	6,7
Marnes bleues armées de grés calcaires	9,8	3,3
Lac d'eau	1,7	0,6
Total	302	100

5. Contexte climatique

5.1. Pluies

Les précipitations sont définies comme : «formes variées sous lesquelles l'eau solide ou liquide contenue dans l'atmosphère se dépose à la surface du globe (pluie, brouillard, neige, grêle, rosée)» (Legrain, 2002).

5.1.1. Caractéristiques des stations pluviométriques

5.1.1.1. Les stations pluviométriques

Les données pluviométriques ont été obtenues à partir du site Web (2016) : <http://tn.freemeteo.com/letemps/historique/historique-uotidien/?gid=2492205&date=2015-05-06&station=13004&language=french&country=algeria> pour les onze stations (Taougrite, Mazouna, Sidi Mhamed Benali, Dahra, Ain Merane, Nekmaria, Achaacha, Khadra, Benizentis, Mediouna et Dadas). Ces stations pluviométriques sont réparties spatialement comme suit : 03 stations localisées à l'intérieur de la zone d'étude et 08 autres sont situées hors de la zone d'étude. Leurs caractéristiques sont données dans le tableau 07.

Tableau 07 : Caractéristiques des stations pluviométriques

n°	Station	<i>Projected Coordinate System: Nord_Sahara_1959_UTM_Zone_31N</i>						
		X (dd)	Y (dd)	Altitude (m)	Localisation	Période de mesure	P (mm)	T (°C)
1	Taougrite	0.92	36.25	530	(+)	22	453.6	18.1
2	Mazouna	0.88	36.13	454	(-)	22	449.7	19.4
3	Sidi Mhamed Benali	0.85	36.15	381	(+)	22	417.5	26.2
4	Dahra	0.85	36.26	489	(-)	22	427.6	17.2
5	Ain Merane	0.98	36.16	497	(-)	22	451.9	20.5
6	Nekmaria	0.62	36.19	308	(-)	22	410.2	19.5
7	Achaacha	0.64	36.25	236	(-)	22	431.8	19.7
8	Khadra	0.58	36.25	151	(-)	22	406.5	18.4
9	Benizentis	0.66	36.11	421	(-)	22	395.7	21.2
10	Mediouna	0.75	36.13	463	(+)	22	386.2	20.9
11	Dadas	0.55	36.23	154	(-)	10	340.0	17.5

(+) : se localise au sein de la zone d'étude

(-) se localise hors zone d'étude

Pour déterminer la pluviométrie interannuelle de la zone d'étude, la méthode des polygones de Thiessen (EPFL, 2003) a été utilisée à l'aide du logiciel ArcGIS 10.2.

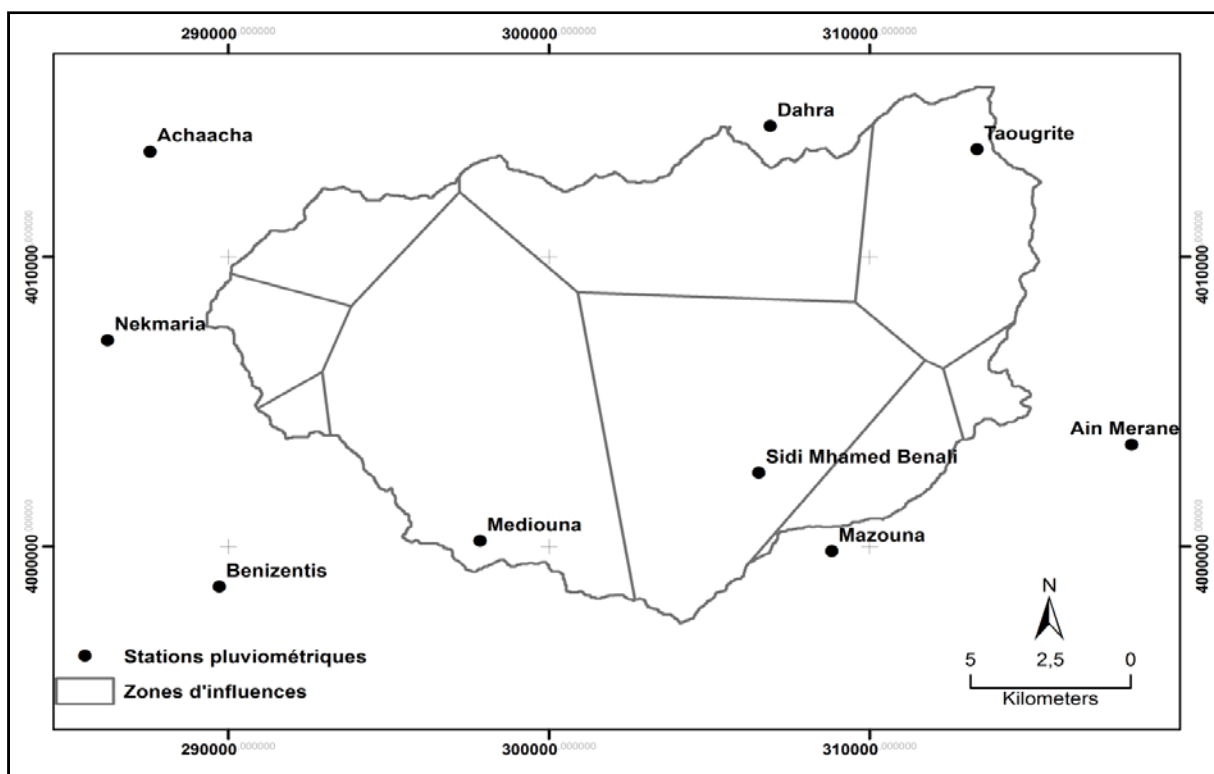


Figure 08 : Surfaces d'influence des stations pluviométriques déterminées selon la méthode des polygones de Thiessen

La pluviométrie interannuelle a été calculée selon la formule ci-dessous. Les résultats sont figurés dans le tableau 08 et leur représentation est illustrée par la figure 10.

$$P_{moy} = \frac{\sum_{i=1}^n S_i P_i}{S}$$

Où :

n : le nombre de stations pluviométriques.

S_i : surface d'influence de chaque station pluviométrique (km²).

P_i : pluviométrie moyenne interannuelle de chaque station (mm).

S : surface totale de la zone d'étude (km²).

Tableau 08 : Pluviométrie moyenne interannuelle de la zone d'étude (1994/95 - 2015/2016)

Station Pluviométrique	surface		Pi (mm)	Si.Pi	P moyennes (mm)	Ki =Pi/P moyenne
	Km ²	%				
Achaacha	15.2	5,0	431,8	6568	417.8	1,03
Nekmaria	11.4	3,8	410,2	4684		0,98
Mediouna	84.4	28,0	386,2	32607		0,92
Sidi Mhamed Benali	75.3	24,9	417,5	31454		1,00
Mazouna	15.5	5,1	449,7	6970		1,08
Ain Merane	5.2	1,7	451,9	2359		1,08
Taougrite	40.3	13,4	453,6	18295		1,09
Dahra	51.6	17,1	427,6	22068		1,02
Benizentis	3.0	1,0	395,7	1187		0,95
Total	302	100		126194		

5.1.1.2. La station de référence

Pour analyser les différents facteurs climatiques influençant la dynamique spatiotemporelle du couvert végétal sur le bassin versant de l'oued Kramis à savoir les températures mensuelles (max, min, moyenne et l'écart thermique), le cumul pluviométrique mensuel, nous avons choisis celle de Sidi Mhamed Benali comme étant une station de référence de notre région d'étude. Le choix de cette station a été reposé sur les constatations suivantes :

Les précipitations moyennes interannuelles de cette station (417.5 mm/an) sont proches aux précipitations moyennes interannuelles de l'ensemble des stations de la zone d'étude (417.8 mm/an avec un écart de précipitations de 0.3 mm) ainsi que sa localisation au sein de la zone d'étude.

La station de Sidi Mhamed Benali sera prise en considération pour déterminer les différents indices climatiques.

Tableau 09 : Données climatiques (2004-2015) de la station de Sidi Mhamed Benali

Mois	Sep.	Oct.	Nov.	Déc.	Jan.	Fév.	Mar.	Avril	Mai	Juin	Juill.	Août	Moy.
P (mm)	6,1	26,3	72,1	40,6	43,4	85	51,8	45,4	31,9	6,2	2,2	6,5	417.5

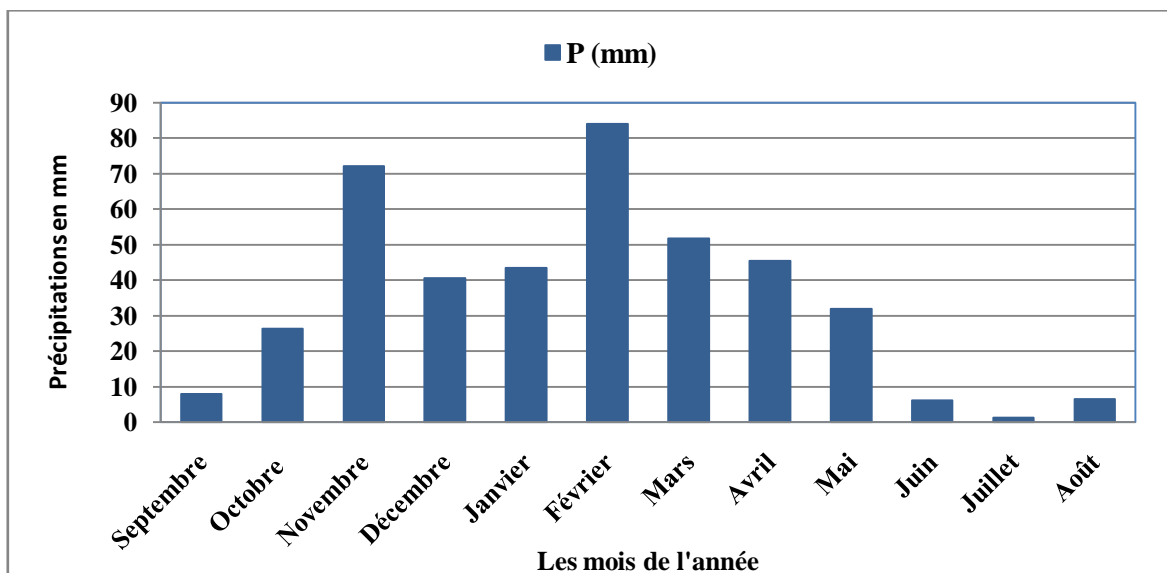


Figure 9 : Précipitations moyennes mensuelles de la station de Sidi Mhamed Benali (1994/95 – 2015/2016)

Les cumules pluviométrique mensuels de la station de Sidi Mhamed Benali ont été estimé. D'après la figure ci-dessus, on déduit que le mois de Février est le mois le plus humide avec un cumul pluviométrique mensuel moyen de 85.0 mm, alors que la valeur minimale du cumule pluviométrique mensuel moyen a été enregistré au cours du mois de Juillet 2.2 mm (tableau 00).

5.1.1.3. Coefficient d'abattement de la pluie Ki

Cet indice a permis de sélectionner la station pluvieuse de celle qui l'est moins. C'est le rapport entre la pluie moyenne ponctuelle P_i d'une station et la pluie moyenne $P_{moyenne}$ de la zone d'étude (figure 11 et figure 12).

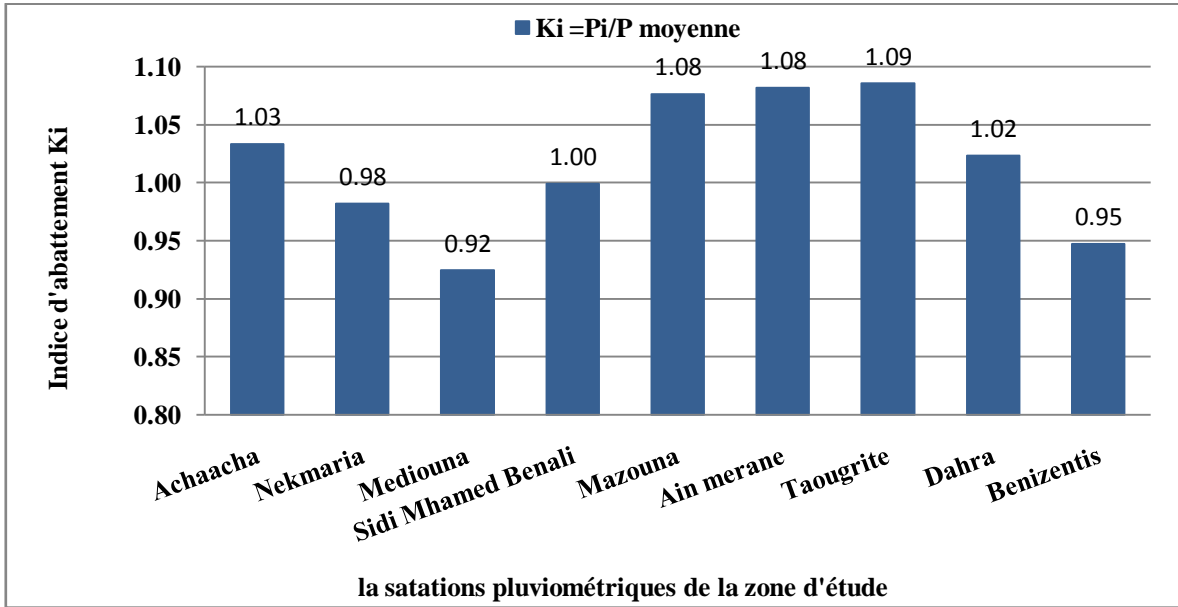


Figure 10 : Coefficient d'abattement (Ki) (1994/95 - 2015/2016)

D'après la figure 11, on déduit que les stations les plus pluvieuses sont celles de Taougrite (1.09), Ain Merane et Mazouna (1.08) dans le secteur Sud-est de la zone d'étude.

5.1.1.4. Indice de Desfontaines modifié (1968)

Cet indice est utilisé à l'échelle mensuelle afin de classer les mois de l'année les plus torrentiels. Il est donné par la formule suivante :

$$ID = b \cdot c$$

Où :

b : nombre moyen de jours de pluies du mois ≥ 20 mm/24 heures.

c : % de pluies mensuelles tombées sous forme de pluies journalières ≥ 20 mm.

Les résultats de mesure des débits liquides et solides pendant quatre années successives dans le bassin versant de l'oued Mina, toutes les pluies journalières ≥ 20 mm ont provoqué un ruissellement et un transport solide en suspension mesuré à l'exutoire des petits bassins versants (Kouri, 1993). C'est pourquoi nous avons retenu un seuil de 20 mm de pluie pendant 24 heures pour calculer cet indice.

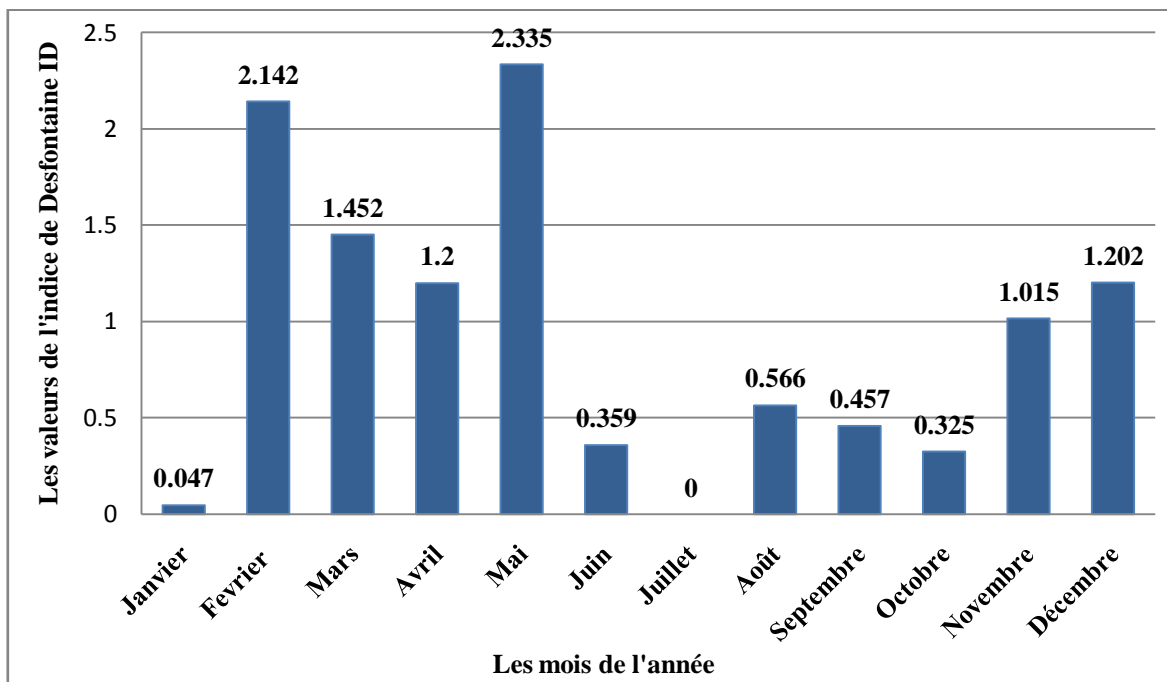


Figure11 :L'indice de Desfontaines modifié (station de Sidi Mhamed Benali : 1994/95-2015/2016)

La valeur de cet indice est élevée à la fin de la saison hivernale (mois de Février) et très élevée à la fin de la saison printanière (mois de Mai).

5.2. Températures

Le facteur thermique a une influence capitale sur les comportements des organismes par le contrôle qu'il exerce sur l'ensemble des processus vitaux. La croissance, l'activité végétative et la production sont étroitement dépendantes de la température.

Les espèces végétales sont plus sensibles aux températures minimales de la saison froide et aux températures maximales de la saison chaude et par conséquent à l'amplitude de leurs oscillations.

Les températures agissent directement sur le climat en interaction avec les autres facteurs météorologiques et biogéographiques.

Les températures enregistrées sur une période de 22 ans (1994/95 - 2015/2016) auprès de la station de Sidi Mhamed Benali sont données dans le tableau 00.

Tableau 10 :Températures moyennes interannuelles (°C) de la station de Sidi Mhamed Benali (1994/95 - 2015/2016)

Mois	Sep.	Oct.	Nov.	Déc.	Jan.	Fév.	Mar.	Avril	Mai	Juin	Juill.	Août	Moy.
Max	39	36.4	28	21.7	21.7	23.6	27.5	33.7	36.4	42.2	44.6	43.6	33.2
Min	24.7	21.9	17	12.5	11.5	12	14	15.6	20	25	27.6	27.7	19.1
Moy	31.9	29.2	22.5	17.1	16.6	17.8	20.8	24.7	28.2	33.6	36.1	35.7	26.2
Apt.* (M-m)	14.3	14.5	11	9.2	10.2	11.6	13.5	18.1	16.4	17.2	17	15.9	14.1

Apt. : écart entre la valeur maximale et minimale
2016*

Source : Station de Sidi Mhamed Benali,

Tel que :

M : Température moyenne mensuelle des maxima.

m : Température moyenne mensuelle des minima.

(M+m)/2 : Température moyenne mensuelle des moyennes.

Les températures moyennes mensuelles sont maximales au cours de la période du mois d'Avril à Octobre (saison chaude), et atteint leur maximum pendant le mois du juillet avec une valeur de 36.1°C. Les températures moyennes mensuelles sont minimales au cours de la période du mois de Novembre à Mars (saison froide) et atteint une valeur de 11.5 °C (Janvier).

L'analyse de l'indice des écarts thermiques mensuels (M-m) met en relief des températures assez importantes pendant une période allant de mois d'Avril (18.1 °C) à Octobre (14.5 °C). Cet indice moyen interannuel, appelé également l'indice de continentalité, permet de préciser l'influence maritime ou au contraire continentale d'une région donnée. Debrach (1953) définit quatre types de climats :

- Climat insulaire : $M-m < 15^{\circ}\text{C}$.
- Climat littoral : $15^{\circ}\text{C} < M-m < 25^{\circ}\text{C}$.
- Climat semi-continentale : $25^{\circ}\text{C} < M-m < 35^{\circ}\text{C}$
- Climat continentale : $M-m > 35^{\circ}\text{C}$.

L'indice de continentalité permet de situer notre zone dans un climat insulaire.

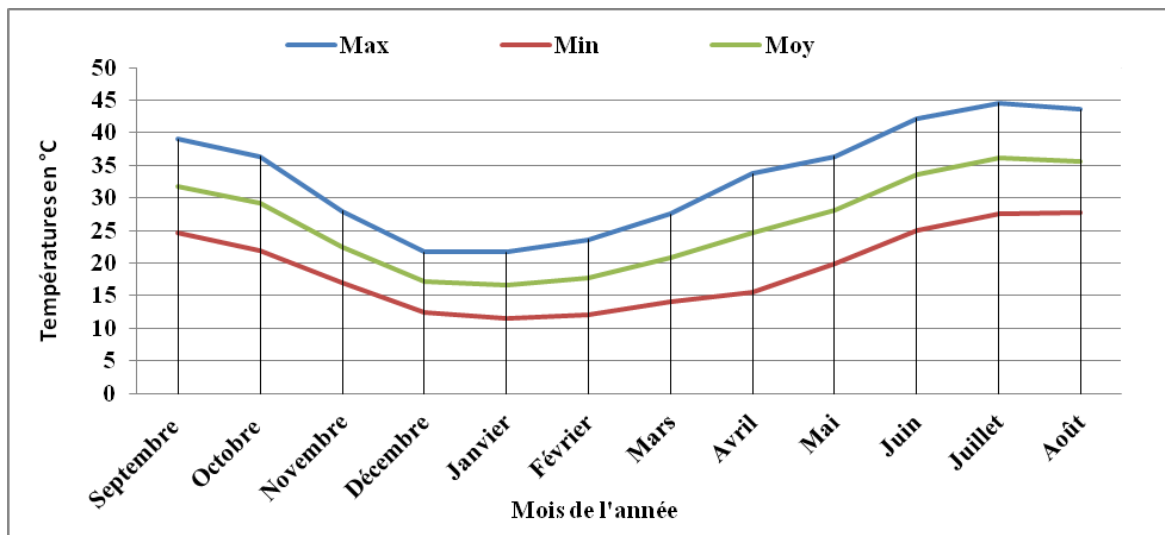


Figure 12 Régime thermique interannuel de la station de Sidi Mhamed Benali (1994/95 - 2015/2016)

Les températures moyennes mensuelles de chaque station (11 stations, figure 13) ont été estimées. D'après la figure 13, on remarque que le secteur Sud-Est a enregistré des valeurs relativement élevées par rapport à celui situé au Nord-Ouest de la zone d'étude. Cette variabilité spatiale des températures peut être liée aux conditions géographiques (l'éloignement à la mer, exposition des reliefs, exposition aux vents, durée d'ensoleillements... etc).

L'extrapolation des températures mensuelles de 11 stations météorologiques sur l'ensemble du bassin versant de l'Oued Kramis a été réalisée au moyen de l'ArcGIS 10.2, en utilisant l'outil *Geostatistical analysis Kriging/Cokriging*.

5.2.1. Synthèse bioclimatique

La synthèse bioclimatique est une étape indispensable à tout projet relatif à l'environnement. Elle s'est faite à partir des travaux d'Emberger (1930, 1955); Bagnouls et Gaussen (1953); Thornthwaite (1946) et Sauvage (1963), pour ne citer que ces auteurs.

5.2.2. Le quotient pluviothermique et les étages bioclimatiques d'Emberger

L'emploi du quotient pluviothermique (Q_2) est spécifique au climat méditerranéen. Il a été utilisé avec succès en Afrique du Nord et en France méditerranéenne. En effet, ce quotient permet d'apprécier l'aridité des régions méditerranéennes. Les valeurs du Q_2 étant d'autant plus basses quand le climat est plus sec. Cet indice est calculé par la formule de Sauvage (1963):

$$Q_2 = 1000. P / (M-m) [(M+m)/2]$$

Où : P: précipitations moyennes annuelles (mm).

M : température moyenne des maxima du mois le plus chaud (°K).

m : température moyenne des minima du mois le plus froid (°K).

Cet auteur a mis au point un zonage du bioclimat méditerranéen du plus sec vers le plus humide en combinant les données climatologiques et celles de la végétation. On distingue plus souvent les étages bioclimatiques : saharien, aride, semi-aride, subhumide et humide. Chaque étage comprend une stratification verticale.

Ce coefficient a été modifié par Stewart (1969), la formule obtenue est la suivante :

$$Q_2 = 3,43. P / (M-m)$$

Q₂: Le quotient pluviométrique d'Emberger ;

P : Pluviométrie annuelle en (mm) ;

M : Moyenne des maxima du mois le plus chaud en (°C) ;

m : Moyennes des minima du mois le plus froid en (°C).

Tableau 11 : L'indice bioclimatique d'Emberger,L. (l'après Stewart, 1969)

Station	P (mm)	M °K	m °K	Q ₂
Sidi Mhamed Benali	417.5	317.6	285	44

En se référant au Climagramme pluviométrique d'Emberger, la station de Sidi Mhamed Benali, avec $Q_2 = 44$ et $m = 11.5$ °C. La valeur de Q_2 portée sur le climagramme en tenant compte de m, classe la station de Sidi Mhamed Benali de la zone d'étude dans l'étage bioclimatique semi-aride à hiver chaud.

5.2.3. L'indice d'aridité climatique de De Martonne (1927)

En se basant sur le régime de précipitations moyennes interannuelles P (mm) et de températures moyennes interannuelles T (°C), l'indice d'aridité est calculé par la formule suivante :

$$I = P / (10 + T)$$

5.2.3.1. Grille d'interprétation

$7,5 < I < 10$ climat steppique.

$10 < I < 30$ climat semi-aride.

$30 < I < 50$ climat tempéré.

Tableau 12 :L'indice de De Martonne

Stations P (mm)	P (mm)	T (°C)	T+ 10 (°C)	I
SidiMhamed Benali	417.5	26.2	36.2	11.5

D'après le tableau 12, la zone d'étude est caractérisée par un climat semi-aride.

5.2.4. Le diagramme Ombrothermique de Bagnouls et Gausson (1953)

Les monts Ouest du bassin versant de Côtier algérois ont un climat de type méditerranéen semi-aride caractérisé par une sécheresse estivale prononcée. Selon Bagnouls et Gausson (1953), une période sèche est définie comme étant celle durant laquelle la moyenne des précipitations (en mm) est inférieure au double de la moyenne des températures (en °C).

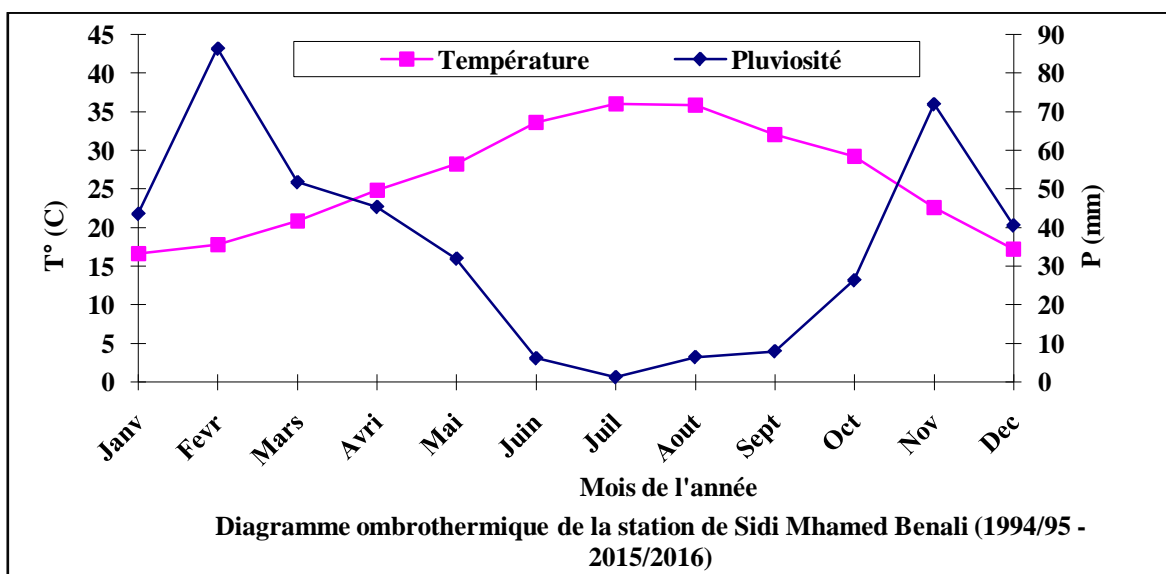


Figure 13: Diagramme Ombrothermique (station de Sidi M'hamed Benali : 1994/95 – 2015/2016)

Le diagramme Ombrothermique montre que, la zone d'étude est caractérisée par une période sèche s'étalant sur sept (7) mois : Avril, Mai, Juin, Juillet, Août, Septembre et Octobre.

Le climat du bassin versant de l'oued Kramis est de type semi-aride, caractérisé dans sa majeure partie par une saison sèche et une saison humide marquée par des faibles précipitations. Ce climat est influencé à la fois par l'altitude qui varie entre 757 m et 63 m et par son ouverture sur la mer, cette dernière assure aussi bien l'humidification que la modération des températures.

6. CONCLUSION

Les reliefs présentent une légère asymétrie, cette dernière est due à des différences de pédogénèse, de météorisation et d'ablation selon l'exposition. L'hypsométrie avec des tranches d'altitude de 50 m, nous donne une altitude moyenne de 380 mètres.

Le climat est de type semi-aride (417.8 mm/an) dont l'écart thermique atteint parfois 33.1 °C entre Juillet et Janvier et où les pluies sont rares et irrégulières (84 mm/an pendant le mois de Février et 1.3 mm/an durant le mois du Juillet). L'étude de la répartition spatiale des données pluviométriques montre que, les secteurs Est et Sud-est sont les plus arrosés que ceux situés au Nord-ouest.

Chapitre II

1. Définition de l'érosion

L'érosion, selon la (FAO, 1994), regroupe l'ensemble des phénomènes qui contribuent, sous l'action d'un agent d'érosion (notamment l'eau) à modifier les formes de relief. L'érosion est aussi définie comme étant un processus physique, chimique, naturel par lequel le sol et les roches de la croûte terrestre sont continuellement soumis à une abrasion et à une corrosion (Georges, 2008).

2. Facteurs de l'érosion hydrique

L'érosion hydrique qui affecte les sols méditerranéens est fonction de multiples facteurs qui selon Morgan (1986), semblent être les mêmes partout dans le monde.

2.1. Le climat

En zone méditerranéenne, plus les précipitations sont faibles, plus elles sont variables (Le Houérou, 1986 cité par FAO, 1990). Elles tombent entre Novembre et Mars, période durant laquelle les sols cultivés sont nus. En Algérie, sur des parcelles peu couvertes, pendant les orages d'automne, le ruissellement journalier maximal a dépassé 19 à 32 % et jusqu'à 70-85 % pendant des averses importantes en hiver sur des sols détrempées (Arabi et Roose, 1989).

2.2. La végétation

L'érosion des sols est fortement contrôlée par la couverture végétale qui dépend de la production de la biomasse. La production de la matière organique est limitée dans les milieux méditerranéens arides, ce qui rend les terres très susceptibles à l'érosion hydrique (Thornes, 1995). Sous un couvert végétal naturel dépassant 40% et sur fortes pentes, les pertes de terres peuvent être très réduites (Garcia Ruiz et al. 1996), car la litière et les végétations basses favorisent l'infiltration (Roose, 1994).

2.3. L'utilisation des terres

L'intensité de l'érosion hydrique des sols est affectée significativement par les activités humaines qui augmentent ou diminuent les pertes en terres. Les incendies répétés et le déboisement illégal détériorent les forêts existantes. Ceci favorise fortement le ruissellement et aboutit à une forte érosion par la suite (Benchaabane, 1997). Mais après les incendies, la colonisation par les plantes réduit l'érosion des sols qui devient inférieure à celle existant avant le feu (Garcia Ruiz et al. 1996).

2.4. La topographie

Sur les pentes fortes, l'eau ruisselle vite et cause une érosion grave. Dans les milieux semi-aride et arides, le gradient de la pente est corrélé positivement avec le recouvrement de la surface du sol par des fragments de roches qui agissent en diminuant le ruissellement et la perte des sols (Abrahamas et Parson, 1991). Les ruissellements moyen et maximal diminuent lorsque la pente augmente (Mazour, 1992). L'exposition des pentes peut avoir une importance, car sur celles exposées au sud qui ont une faible couverture végétale, l'érosion est très élevée (Poesen et al., 1998).

2.5. Les sols

Les principales caractéristiques des sols qui permettent de déterminer le degré de sensibilité l'érosion hydrique sont les suivantes : la profondeur, la porosité, la granulométrie, la teneur en matière organique (FAO, 1996), la nature minéralogique des argiles (Auzet, 1987), l'infiltrabilité et la cohésion (Mériaux, 1961). La matière organique réduit les risques d'érosion à court terme : la matière organique maintenue en surface protège le sol de l'énergie de pluies et du ruissellement (Barthes et al. 1998). En région méditerranéenne, les sols riches en argile saturés en calcium sont résistants à la battance mais sensibles au ravinement (Morsli, 1996).

2.6. La lithologie

Les divers types de roches et leurs structures donnent une indication précieuse sur la capacité d'infiltration des zones occupées par les roches et par les sols et en conséquence sur la quantité de sol susceptible d'être érodée (Krynine et Judd, 1957 ; Demmak, 1982). Une faible infiltration des roches affleurantes indique qu'une grande quantité d'eau ruisselle, par conséquent, une forte quantité de terre peut être emportée. Les sols marneux lorsqu'ils sont secs, restent non érodibles mais, dès qu'ils atteignent une certaine humidité, leur sensibilité à la détachabilité et au ruissellement augmente (Chebbani et al. 1999).

3. Processus d'érosion

L'érosion hydrique des sols résultent de la conjugaison de trois mécanismes : le détachement des particules de sol, leur transport et leur sédimentation.

3.1. Le détachement

Le détachement des particules de sol se fait sous l'impact de deux agents érosifs :

La pluie, qui est reconnue depuis longtemps comme un agent essentiel de l'érosion des sols (Ellison, 1944 ; Ekern, 1950).

L'impact des gouttes de pluies sur la surface de sol provoque le détachement des particules de sol.

Plusieurs mécanismes, qui diffèrent par la nature des forces qu'ils mettent en jeu, sont à l'origine de la désagrégation par l'action de l'eau. Quatre principaux mécanismes ont été identifiés (Emerson & Greenland, 1990 ; Le Bissonnais & Le Souder, 1995 ; Le Bissonnais, 1996) :

L'éclatement, lié à la compression de l'air piégé lors de l'humectation. Les sols argileux sont moins affectés par l'éclatement que les sols limoneux ou sableux, à cause de leur porosité réduite et de leur importante capacité de rétention de l'eau (Le Bissonnais, 1990).

La désagrégation mécanique due à l'énergie dissipée lors de l'impact des gouttes de pluie. Cette énergie se transforme en force de cisaillement qui provoque le détachement des particules de sol et l'effet « splash » (Planche 1).

La microfissuration produite par le gonflement différentiel des argiles. Le gonflement et le retrait de ces argiles provoquent des microfissures des agrégats.

La dispersion physico-chimique résulte de la réduction des forces d'attraction entre les particules colloïdales composant le sol. Elle dépend de la taille et de la valence des cations présents qui peuvent former des ponts entre les particules chargées négativement.



Planche 1: Rejaillissement du sol et de l'eau suite à l'impact d'une goutte d'eau, ou effet splash d'après (Le Bissonnais et al., 2002)

3.2. Le transport

Une fois que les particules de sol sont détachées, elles sont transportées sur des distances plus ou moins importantes.

En plus de son action sur la désagrégation et le détachement, l'impact des gouttes de pluie peut être à l'origine d'un déplacement des particules et fragments issus de la désagrégation à la surface du sol « le splash » (Cerdan, 2001a). Ce dernier constitue le principal moteur de l'évolution structurale et du déplacement latéral des particules de sol avant le démarrage du ruissellement.

Le ruissellement est l'agent principal du transport des fragments de sol mis en mouvement sur une surface. Dans la lame d'eau peu épaisse qui s'écoule à la surface lors d'un événement érosif, les fragments de sol sont transportés par suspension, saltation et traction (Moss et al. 1980).

3.3. La sédimentation

La sédimentation est le mécanisme qui contrôle et peut limiter la quantité de sédiments exportés. Elle se produit quand la capacité de transport de l'écoulement est dépassée. Cette troisième phase du processus d'érosion hydrique apparaît donc par exemple lors du ralentissement du ruissellement. Les particules les plus grossières sont les premières à sédimenter, les plus fines étant transportées plus loin. On parle de tri granulométrique (Kaurak Leite 1990).

4. Les formes de l'érosion hydrique

4.1. Erosion en nappe

L'érosion en nappe est le stade initial de la dégradation des sols par l'érosion hydrique. Il s'agit en réalité d'une fonte de l'horizon humifère superficiel combiné à la remontée en surface des cailloux par un travail profond du sol. Après quelques pluies, les terres fines sont entraînées par les pluies tandis que les cailloux, trop lourds pour être emportés, s'accumulent à la surface du sol (Roose, 1973).

L'érosion en nappe déplace les particules du sol à courte distance par effet « splash » (Roose, 1994).

4.2. Érosion linéaire

Une érosion linéaire se produit quand le ruissellement en nappe se concentre et acquiert, par augmentation de la vitesse d'eau, un pouvoir érosif accru ce qui provoque des incisions linéaires dans le sol de plus en plus profondes (Foster, 1990).

On parle de griffes lorsque les petits canaux ont quelques centimètres de profondeur, de rigoles lorsque les canaux dépassent 10 cm de profondeur, En effet, sur un bassin versant ou une parcelle, l'érosion en rigoles succède à l'érosion en nappe par concentration du ruissellement dans les creux. A ce stade, les rigoles ne convergent pas mais forment des ruisselets parallèles.

Quand les rigoles constituent un réseau bien ramifié et atteignent une profondeur d'ordre métrique, on parle dans ce cas de l'érosion par ravinement (gully erosion).

Les ravins constituent la forme la plus évoluée de l'érosion linéaire, et se répartissent sur l'ensemble du terrain. Parfois, lorsque le substrat est dur, les ravins s'élargissent par sapement des berges qui constituent la principale source des sédiments transporté (Ludwing et al. 1996).

A l'intérieur des ravines, on peut encore distinguer des petites ravines dont le lit est encore encombré de végétation herbacée et surtout arbustive et qu'on pourra fixer rapidement par les méthodes biologiques. Par contre, dans des grandes ravines qui peuvent s'étaler sur plusieurs kilomètres, le canal central comporte des blocs rocheux, témoins d'un charriage important et d'une certaine torrencialité (Hadir 2010)

Tableau 11 : Formes de l'érosion linéaire (Hadir, 2010).

Formes	Tracé	Longueur	Largeur	Profondeur
Griffe	Sinueux	<1 m	< 10 cm	5-6 cm
Rill	Rectiligne	Centaine de m	10-20 cm	5-10 cm
Rigole	Sinueux	Dizaine de m	5-70 cm	10-30 cm
Ravine	Peu sinueux	Centaine de m	50 cm à 1m	30-50 cm
Petit ravin	Peu sinueux	Centaine de m	50 cm à 1m	50-200 cm

4.3. Érosion en masse

L'érosion en masse déplace un volume de sol à l'intérieur de la couverture pédologique selon des formes telles que les mouvements de masse, les coulées de boue et les glissements de terrain, c'est un phénomène qui a lieu sur les terrains en pente forte.

La cause des mouvements de masse provient du déséquilibre entre d'une part la masse sol, de l'eau stockée et des végétaux qui le couvrent et d'autre part des forces de frottement qui permettent la stabilisation de ces matériaux sur la roche altérée, en pente. Les mouvements de masse constituent la manifestation d'un processus appelé solifluxion. (Hadir 2010).

5. Conséquences de l'érosion hydrique

L'érosion des sols est à l'origine de deux familles de problèmes :

5.1. Les conséquences dans la zone de départ des sédiments (on-site effects)

La diminution de la capacité du sol de retenir l'eau et de la mettre à la disposition des végétaux

La diminution du drainage profond induisant une moindre réalimentation des nappes

La stabilité structurale du sol décroît.

La réduction de la couche arable du sol et la productivité des cultures

Sachant que la régénération d'un centimètre sol à partir d'un matériau d'origine peut prendre des milliers d'années, le processus peut être considéré comme quasi irréversible à l'échelle de générations humaines.

5.2. Les conséquences sur les lieux de dépôt (off-site effects)

La réduction de la capacité des lits de rivières et un risque d'inondation des terres voisines,

La sédimentation des sols érodés dans des endroits non désirables,

La destruction de infrastructures (routes, chemins, ponts),

L'augmentation du coût de traitement des eaux de consommation (métaux lourds et pesticides),

L'accélération de l'envasement des barrages.

6. Les modèles empiriques de perte en sol

6. 1. Méthode de quantification et de prévision des taux d'érosion hydrique

La formule empirique de calcul des taux d'érosion, la plus largement admise et utilisée aux Etats Unis dernièrement un peu partout dans le monde est celle de Wischmeier et Smith (1965) qui a été éditée une seconde fois en 1978 (Laflen et Moldenhauer, 2003). Ce modèle est plus connu par les initiales de son appellation en anglais USLE (Universal Soil Loss Equation).

Ce modèle a été développé pour estimer les pertes de sols d'un champ sur une base annuelle (à partir de paramètres caractérisant le climat, le sol, la topographie, la couverture végétale et le contrôle de l'érosion), elle ne tient pas directement compte de l'aspect dynamique de la composante hydrique de l'érosion.

Williams et Berndt (1977) ont développé une version modifiée de l'USLE (MUSLE) pour dériver un modèle d'estimation de la production des sédiments basé sur les caractéristiques de l'écoulement, jugé comme le meilleur indicateur pour prédire l'apport des sédiments, à la sortie du bassin versant sur la base d'un événement pluvieux et de certains facteurs qui affectent l'érosion des sols.

RUSLE étant l'un des plus grands modèles techniquement avancé et montrant un potentiel pour une utilisation dans plusieurs parties du monde, y compris les pays en développement. En outre, la flexibilité du modèle RUSLE s'est avérée avantageuse pour l'application sur une échelle du bassin versant (Smith et al. 2000).

Selon ces modèles, l'érosion est une fonction multiplicative de l'érosivité des pluies (le facteur R) que multiplie la résistance du milieu, laquelle comprend K (l'érodabilité du sol), LS (le facteur topographique), C (le couvert végétale et les pratiques culturales) et P (les pratiques antiérosives).

Ainsi, ces modèles de prévision de l'érosion sont constitués d'un ensemble de cinq sous- modèles.

Ces modèles sont donnés par la relation suivante :

$$E=R.K.L.S.C.P$$

Avec :

E : la perte en sol moyenne annuelle (t /ha) ;

R : le facteur d'érosivité de la pluie (MJ. mm /ha. h)

L'indice d'érosivité est égal à l'énergie cinétique des pluies, que multiplie l'intensité maximale des pluies durant 30 minutes exprimée en cm par heure (El Garouni et al, 2007)

K : le facteur érodabilité du sol (t.h/MJ.mm)

L'érodabilité d'un sol est fonction de sels altière organiques et de la texture des sols, de la perméabilité et de la structure du profil, il varie de 0,70 pour les sols plus fragiles à 0,01 sur les sols les plus stables, les valeurs facteur k, situées entre 0,22 et 0,46 montrent une nette fragilité des sols et leur susceptibilité à l'érosion (El Garouni et al, 2007)

LS : le facteur topographique

La détermination de la longueur (L) et du degré de pente (S) pour une utilisation dans des modèles d'érosion se fondent sur des mesures longues et difficiles sur le terrain et jugées souvent imprécises, avec le développement des SIG, la détermination du facteur (LS), nécessite d'effectuer l'analyse de la carte de pente donnant la longueur et l'inclinaison en % que les MNT permettent de générer (Hickey, 2000)

C : le paramètre du couvert végétal

Le couvert végétal est, après la topographie, le second facteur le plus important qui contrôle le risque d'érosion des sols, dans le modèle RUSLE. L'effet du couvert végétal est incorporé au facteur d'aménagement du couvert ; il est défini comme un ratio de la perte en sol sur des terrains cultivés sous des conditions spécifiques par rapport à la perte en sol correspondant sur un terrain en jachère (Wischmeier et Al 1978). La valeur de c dépend principalement du pourcentage de la couverture végétal et de la phase de croissance (Kalman ,1970)

P : le facteur des pratiques antiérosives

Reflète les effets des pratiques qui réduisent la quantité d'eaux de ruissellement et la vitesse de ruissellement et qui réduisent de ce fait l'importance de l'érosion. Il représente le ratio des pertes de terre associées à une pratique de conservation aux pertes de terre associées à la culture en lignes dans le sens de la pente, toutes les autres conditions étant égales par ailleurs ; il est compris entre 0 et 1. (Cormary et Masson, 1964).

7. Les techniques d'analyse spatiale

7.1. Définition de la Télédétection

Celle-ci se définit comme la science (art) d'obtenir des informations sur un objet, une surface ou un phénomène par l'analyse des données obtenues sans contact apparent avec l'objet observé (Lumbuenamo, 2008). Cette discipline scientifique regroupe l'ensemble des connaissances et des techniques utilisées pour l'observation, l'analyse, l'interprétation et la gestion de l'environnement à partir d'images obtenues à l'aide de plates-formes aéroportées, spatiales, terrestres ou maritimes. La télédétection suppose l'acquisition d'information à distance, sans contact direct avec l'objet détecté (Bonn et rochon 1992).

7.2. Utilité de la Télédétection

D'un point de vue application, et surtout pour l'observation de la terre, la Télédétection est un outil de collecte des données sous format raster (image). Ces images représentent un enregistrement objectif du spectre qui concerne les propriétés physiques et la composition chimique des matériaux de la surface de la terre (Liu et Philippa, 2009).

Le traitement d'image devient ainsi un outil indispensable pour l'extraction des informations thématiques et/ou quantitatives de l'image. Pour une analyse plus complète, les images doivent être analysées en conjonction avec d'autres données complémentaires, telles que les thématiques existants, les cartes de la topographie, la géomorphologie, la géologie et l'utilisation des terres, ou avec géochimiques et géophysiques, données d'enquête ou de données de terrain, là où un Système d'Information Géographique (SIG) entre en jeu. Les SIG contient des outils très sophistiqués pour la gestion, l'affichage et l'analyse de tous les types d'information à référence spatiale (Longley *et al.* 2009).

7.3. Domaines de la Télédétection

Si à la base les applications étaient plutôt militaires, de nombreuses disciplines utilisent les images satellites :

Tableau 12 : Domaines de la Télédétection

Domaines	Exemples d'applications
Géosciences	Géologie, pédologie, géomorphologie...
Météorologie	Vitesses des vents, précipitations, températures, détection des cyclones, orages...
Océanographie	Couleur de l'eau, turbidité, hauteur des vagues, courant marin, phytoplancton, pollution marine...
Foresterie	Couverture forestière, santé des forêts, impacts après ouragans...
Cadastre / Urbanisme	Couverture du sol, urbanisation, contrôle des autorisations (piscines, zones bâties...)
Agriculture	Identification des plantations, évaluation de la production...
Environnement	Etudes d'impact, détection des changements...
Biologie / Ecologie	Classification des types de végétaux, étude du corail, cartographie des habitats...
Télécommunication	Carte de répartition des antennes de téléphonie mobile...
Hydrologie	Comportements de l'eau à la surface du sol et dans le sol, cycle de l'eau...
Changements globaux	compositions de l'atmosphère... Désertification, variation climatiques,
Catastrophe environnementales	Feux de forêts, éruptions volcaniques forêts, éruptions volcaniques sécheresses, marées noires...

Source : Peduzzi (2009).

8. Définition d'un SIG

Le système d'information géographique (SIG) peut être très simplement défini comme un outil informatique qui permet d'intégrer, de localiser, d'analyser et de représenter des données qui ont ou non une dimension géographique (Midekor et J. Wellens, 2007).

Les SIG sont considérées comme une des technologies de l'information les plus performantes car elle vise à intégrer des connaissances provenant des sources multiples et crée un environnement pluri-secteurs idéal pour la collaboration (Denis, 2012).

8.1. Les composantes d'un SIG

Un SIG est constitué des 4 composantes majeures (Lumbuenamo, 2008) ;

Les données : c'est la composante la plus importante des SIG ; les données géographiques peuvent être soit importées à partir des fichiers, soit saisies par un opérateur

Logiciels : assurent les 5 fonctions suivantes : saisie des informations géographiques sous forme numérique (acquisition) ; gestion de base de données (archivages) ; manipulation et interrogation des données géographiques (analyse) ; mise en forme et visualisation (affichage) ; représentation du monde réel (abstraction)

Ordinateur et accessoire ; constitue le matériel incontournable pour les traitements SIG. Actuellement, le traitement des données à l'aide des logiciels ne peut se faire sans l'aide ordinateur.

Personnel : regroupe à la fois les opérateurs SIG ainsi que les utilisateurs (gestion et planificateurs).

8.2. Les fonctionnalités d'un SIG

Longley et al. (2009) identifie cinq (5) grandes fonctionnalités du SIG :

Acquisition : pour la collecte des données grâce à des fonctions de saisie des données sous forme numérique ;

Archivage : grâce à un système de gestion de bases de données (SGBD)

L'affichage : pour la restitution des résultats par des fonctions des mises en forme et de visualisation

Analyse : par des fonctions de manipulation, croisement et transformation des données spatiales au moyen de requêtes dans le SGBD

Abstraction : par des fonctions rendant compte de la modélisation de la réalité

8.3. Les domaines d'application de SIG

Le SIG touche pratiquement la plupart des domaines et résout des problématiques de plus en plus complexes. Ainsi on entend parler des SIG en :

Tableau 13 : Les domaines d'application de SIG

Domaines	Exemples d'applications
Gestion de territoires	L'utilisation qu'en font les gestionnaires va de l'emploi simple de la base de données du territoire à la réalisation d'analyses plus sophistiquées
Etude économiques et socio-économiques	Population, emploi, logement, production et services.
Tourisme	Gestion des infrastructures, itinéraires touristiques.
Télécoms	Implantation d'antennes pour les téléphones mobiles.
Réseaux de communication	Electricité, eau, routes, fleuves, réseaux, souterrains.
Protection civile	Gestion et prévention de catastrophes
Hydrologie	Fleuves, oueds, nappes, barrages et stations.
Forêt	dégradation du milieu, solutions d'aménagement
Science de la terre	Géologie, géodésie, pédologie, géotechnique
Biologie	Etude du déplacement des populations animales

Source : (Benabdeli K, 2009).

Chapitre III

1. Données utilisées

Outre, les sources des données qui ont été mentionnées dans le chapitre I (étude du milieu), nous avons utilisé une série des images issues de deux générations du satellite landsat: Landsat 4-5 *Thematic Mapper (TM)* et celles de Landsat 8 *Operational Land Imager (OLI)* et *Thermal Infrared Sensor (TIRS)*

Les caractéristiques de ces séries sont figurées dans les tableaux suivants :

Tableau 14 : Caractéristiques spectrales et spatiales des images traitées du capteur Landsat 4-5 *Thematic Mapper (TM)*

Couverture spectrale (µm)		Résolution spatiale
Visible au proche infrarouge	Band1- blue (0.45 - 0.52)	30 mètres
	Band2- green (0.52 - 0.60)	
	Band3- red (0.63 - 0.69)	
	Band4- Near infrared (0.77 - 0.90)	
Short-wave Infrared	Band5 (1.55 – 1.75)	
Thermal Infrared	Band6 (10.40 – 12.50)	
Short-wave Infrared	Band7 (2.09 – 3.35)	
Panchromatic (Landsat 7 only)	Band8 (0.52 - 0.90)	

Tableau 15 : Caractéristiques spectrales et spatiales des images traitées du capteur Landsat 8 *Operational Land Imager (OLI)* et *Thermal Infrared Sensor (TIRS)*

Couverture spectrale (µm)		Résolution spatiale
Visible au proche infrarouge	Band1- coastal aerosol (0.43 - 0.45)	30 mètres
	Band2- blue (0.45 - 0.51)	
	Band3- green (0.53 - 0.59)	
	Band4- red (0.64 - 0.67)	
	Band5- Near infrared (0.88 - 0.85)	
SWIR1 et 2	Band6-Short wave Infrared (1.57 - 1.65)	15 mètres
	Band7-Short wave nfrared (2.11 - 2.29)	
Panchromatic	Band8 (0.50 – 0.63)	15 mètres
Cirrus	Band9 (1.36 – 1.33)	30 mètres

TIRS1 et 2	Band10 (10.60 – 11.19)	
	Band11 (11.5 -12.51)	

2. La Méthodologie adoptée

2.1. Le modèle RUSLE

Le modèle RUSLE (Renard et al. 1997) propose la même formule que l'USLE (Wischmeier et Smith, 1965-1978) mais plusieurs améliorations sont réalisées pour la détermination des différents facteurs érosifs. 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.

L'application du modèle RUSLE nécessite le calcul des différents facteurs intervenant sur les processus érosifs et leur spatialisation sous forme de cartes thématiques. L'intégration de ces données dans le SIG permet de les superposer et d'évaluer le taux d'érosion en appliquant la formule de :

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

Où : A : est le taux annuel de perte en sol exprimée en t/ha. Le facteur R, est relatif à l'érosivité des pluies et est exprimé en Mj.mm /ha.h. Le facteur K représente l'érodibilité des sols selon l'unité, t. ha/Mj.mm. L'indice de pente LS, est sans dimension. Il représente l'inclinaison (S en %) et la longueur de pente (L en m). Les indices relatifs à la couverture du sol C et celui de la protection contre l'érosion hydrique P, ne présentent pas d'unités particulières.

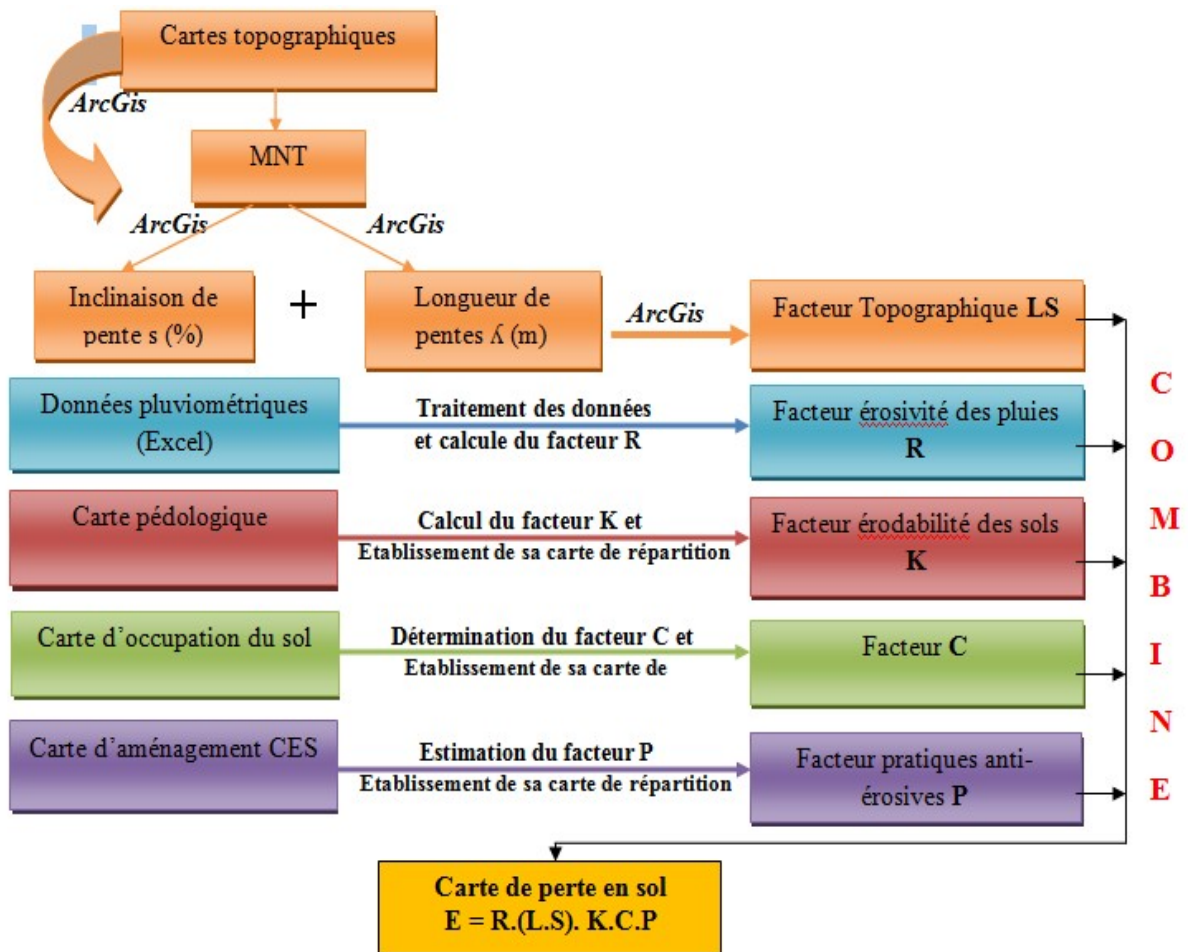


Figure14 : Organigramme méthodologique de l'intégration de l'équation universelle de perte de sol dans le SIG

2.1.1. L'érosivité des pluies (R)

L'érosivité des précipitations (le facteur R ou EI_{30}) (en $Mj.mm/ha.h.an$) dans le modèle RUSLE est définie comme une moyenne à long terme du produit de l'énergie cinétique. Ce dernier, est responsable du détachement des particules du sol sous le choc des gouttes de pluie (E) multiplié par l'intensité maximale en 30 minutes des pluies (I_{30}) qui exprime l'effet du ruissellement. Le facteur R annuel est la somme des facteurs R calculés de toutes les averses dépassant 12,7 mm (Wischmeier et Smith, 1978). Ces averses doivent être séparées chacune de l'autre de plus de 6 heures, au cours desquelles tombe moins de 1,27 mm de pluie. Wischmeier (1978) suggère une période de mesures de 22 ans pour que l'estimation de l'érosivité des pluies soit satisfaisante (Sadiki et al. 2012).

Le calcul du facteur R par la méthode directe de Wischmeier et Smith ne peut s'appliquer que dans des régions qui sont équipées par un pluviographe qui enregistre instantanément les pluies, mais dans la majorité des cas, les stations pluviométriques n'enregistrent que la moyenne journalière (Jebari, 2009).

La majorité des auteurs qui ont utilisé le modèle RUSLE/USLE pour la quantification de l'érosion hydrique, ont adopté, pour le calcul du facteur de l'érosivité des pluies, R, des équations alternatives qui se basent sur des données aisément collectées. Au cours de notre étude nous adopterons aussi cette dernière approche faute de disponibilité de mesures instantanées au niveau du bassin versant oued Kramis.

De nombreuses études menées à travers le monde montrent que l'érosivité des pluies présente une corrélation significative avec les précipitations annuelles (Benchettouh et al. 2017). D'après Lee et Heo (2011), l'indice de Fournier modifié (MFI) développé par Arnoldus (1977, 1980) pour le Maroc, est le bon exemple de cette approche (Lahlaoui et al. 2015). Récemment, cet indice a été utilisé largement en Himalaya (Pandey et al. 2009), en Turquie (Ozsoy et al. 2012 ; Demirci et Karaburun, 2012) et à l'Inde (Prasannakumar et al. 2012).

D'autres approches effectuées dans les pays méditerranéens ont été basées sur des données horaires, journalières, mensuelles et annuelles, c'est le cas par exemple de l'Italie (Diodato, 2004 ; Diodato et Bellocchi, 2007 ; De Paola et al. 2013) et de l'Espagne (Nekhay et al. 2009).

Pour surmonter ce problème, nous avons utilisé dans le présent travail un modèle simplifié pour estimer l'érosivité des pluies R en se basant sur des données disponibles au niveau de notre d'intérêt (précipitations annuelles et les précipitations journalières maximales/an). Ce modèle est basé sur le concept de Diodato (2004, 2005), et exprimé comme suit : $R_{MedRed} = b_0 \cdot P \cdot \sqrt{d} (\alpha + b_1 \cdot L)$ (Mj.mm/ha.h.an).

Où : $b_0 = 0,117$ en $MJ ha^{-1} h^{-1}$, $b_1 = - 0.015 (d^{0,5} mm^{-0,50-1})$, $\alpha = 2,00$ et L = longitude de la station météorologique d'étude exprimée en degré décimal (d'après le Modèle de MedRed), P et d sont respectivement les précipitations moyennes annuelles et celles journalières maximales par année en millimètre.

Cette formule a été appliquée à Onze stations se trouvant dans ou à proximité du bassin versant de l'oued Kramis pour une série d'observation de 22 ans (1994-2016) (tableau 14). Le facteur R pour chacune des stations a été estimé. On note que la valeur maximale de R a été enregistrée au niveau de la station d'Ain Merane (secteur Est) avec une valeur de 630.5 Mj.mm/ha.h.an, alors que celle minimale a été observée au Sud-Ouest de la zone d'étude chez les stations de Mediouna et Benizentis (586 Mj.mm/ha.h.an) et (586.4 Mj.mm/ha.h.an) respectivement. L'extrapolation d'érosivité des pluies sur l'ensemble de

la zone d'étude a été réalisée au moyen de l'ArcGIS 10.2, en utilisant l'outil *Geostatistical analysis Kriging/Cokriging*. Le résultat obtenu a été figuré dans la carte de R (figure 16).

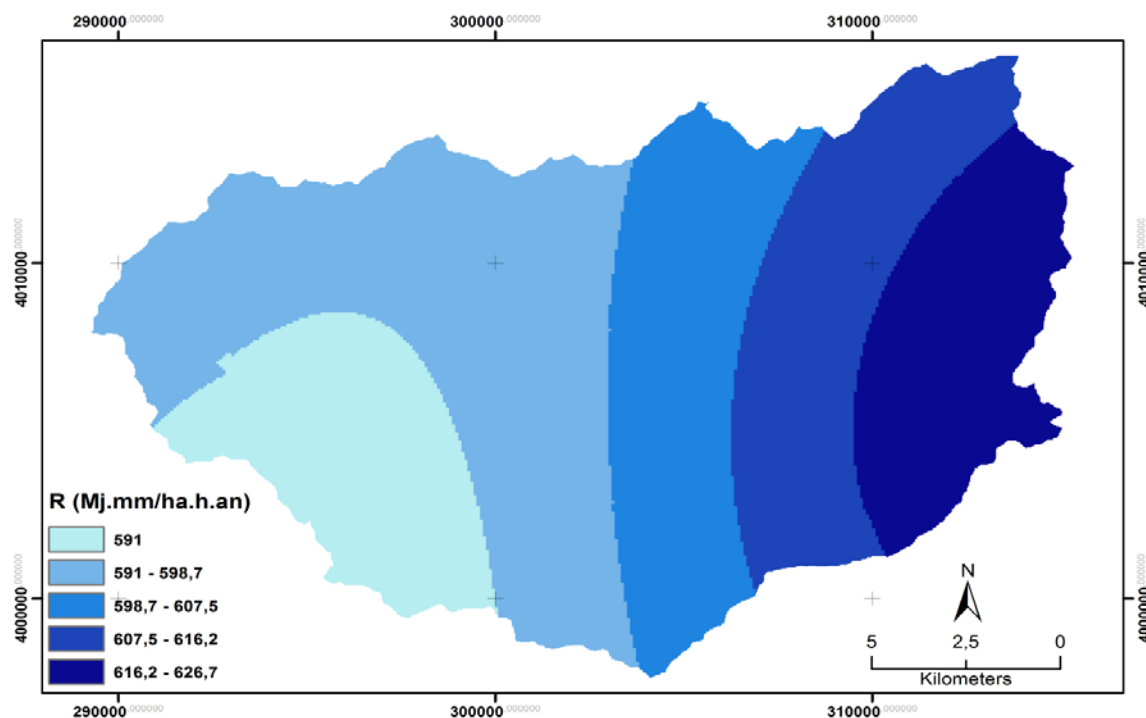


Figure 15 L'érosivité de pluie R de la zone d'étude.

Tableau16 : Répartition de différentes classes de R en fonctions de leurs surfaces correspondantes

Classe de R	Surface	
	Km ²	%
< 591	117,2	39
591,1 - 598,7	60,6	20
598,8 - 607,5	50,9	15,4
607,6 - 616,2	73,3	24
616,3 - 626,7	302	100

2.1.2. L'érodibilité du sol K

Le facteur K est une mesure empirique d'érodibilité du sol et qui caractérise les propriétés intrinsèques du sol (Fu et al. 2005). Ce facteur K est lié à la classe de perméabilité, à la texture du sol, au taux de matière organique, et aux autres paramètres granulométriques tel que l'argile, limon et le sable fin, et il est en grande partie déterminé par le type de sol (Renard et al. 1997).

L'érodibilité du sol K a été déterminée expérimentalement au laboratoire des sciences du sol Université M'sila. Les valeurs de K ont été calculées en se basant sur la formule de Wischmeier et Smith (1978), ainsi :

$$100K = 2,1M^{1,14} \cdot 10^{-4} \cdot (12 - a) + 3,25 (b - 2) + 2,5(c - 3) / d$$

Où : M = (% sable fin + limon) (100 - % argile).

a = % matière organique.

b = code de la perméabilité.

c = code de la structure.

d = 7,59 pour avoir les valeurs de K en unité de Système International.

Chaque type de sol a été associé à un facteur K. La carte K a été établie suite au calcul par la méthode de reclassement à l'aide du logiciel ArcGis 10.2 (figure 17).

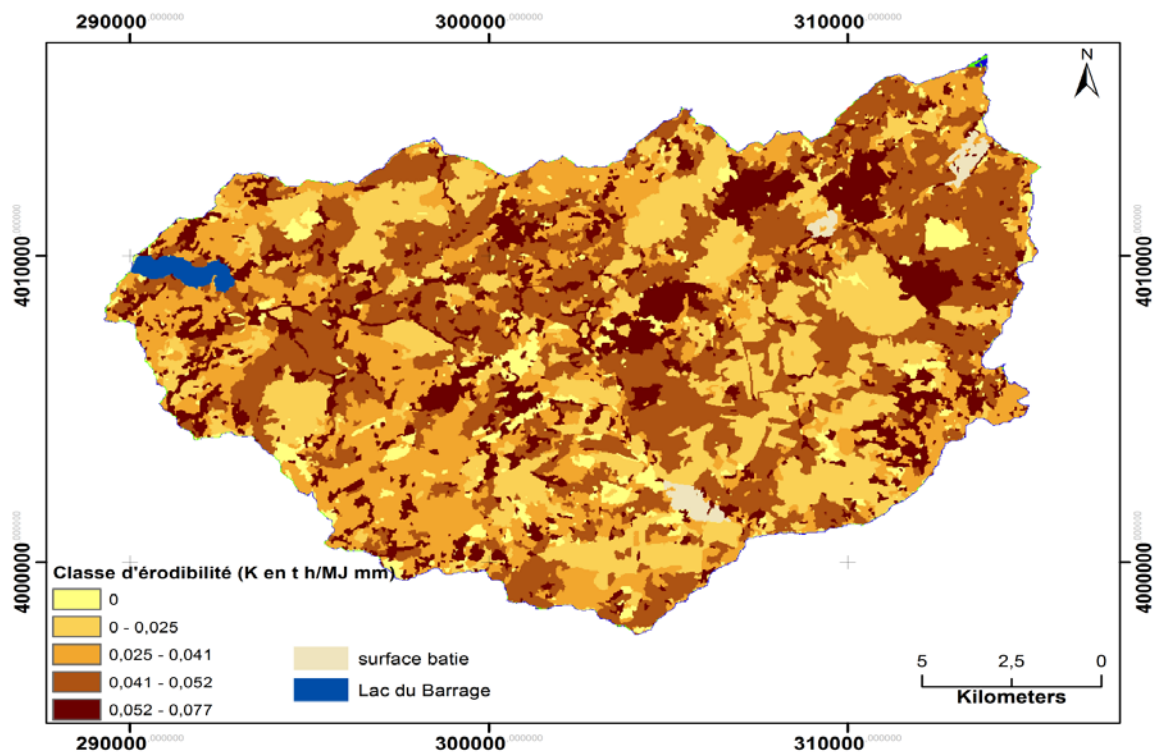


Figure 16 : Carte d'érodibilité du sol de la zone d'étude (réalisée par A . BEN CHETTOUH et al.,2017)

Les principales catégories texturales des sols sont regroupées en dix classes :

Tableau 17 : les principales catégories texturales de la zone d'étude.

Texture	Surface	
	Km ²	%
Surface bâtie	4,9	2,3
Sable argileux	8,5	2,8
Limon sablo-argileux	13,8	4,5
Limon argilo-sableux	69,5	22,9
Limon argileux	33,8	11,1
Lac d'eau	1,9	0,6
Argile sableuse	7,6	2,5
Argile lourde	94,3	31,0
Argile limoneuse	11,4	3,8
Argile	56,1	18,5
Total	302	100

2.1.3. La topographie LS

Les facteurs de L et S dans RUSLE reflètent l'effet de la topographie sur l'érosion. Selon les expériences de Wischmeier et Smith (1958 – 1978), le taux d'érosion augmente avec la longueur de pente. L'accumulation et l'accélération du ruissellement sur les plus longues pentes augmentent sa capacité au détachement et au transport des particules (Haan et al. 1994).

La longueur de la pente peut être définie comme la distance du point d'origine du ruissellement jusqu'au point où la diminution du degré de la pente marque le début de la sédimentation. Elle est mesurée selon la projection horizontale et non d'une façon parallèle à la surface du sol (Wischmeier et Smith, 1978). Le facteur topographique (LS) a été calculé à partir de l'inclinaison des pentes et de leur longueur (Renard et al. 1997).

Le facteur LS est estimée à partir d'un MNT (Hickey 2000 ; Boggs et al.2001 ; Kinnel 2001 ; Gertner et al.2002 ; Wang et al,2003 ; Van Remortel et al, 2001, 2004). Le calcul de LS nécessite des facteurs tels que l'accumulation de flux et l'inclinaison de la pente. La combinaison LS-facteur à partir du MNT-30 a été calculée pour le bassin versant de l'oued Kramis au moyen d'ArcGIS 10.2 *Spatial Analyst* et le modèle *Hydrotools extension tools* suivant l'équation de Burch et Moore (1986) :

$$LS = (\text{flow accumulation} * \text{Cell size}/22,13)^{0,4} * (\sin \text{slope}/0,0896)^{1,3}.$$

Où *Cell size* pour cette étude est de 30 m. Les valeurs du facteur LS dans la zone d'étude variées de 0,6 à 16,46, avec une moyenne et l'écart type de 2 et 1,63 respectivement. La majorité de la zone d'étude a une valeur de LS inférieure ou égale à 2. (Figure 18) et (Tableau16).

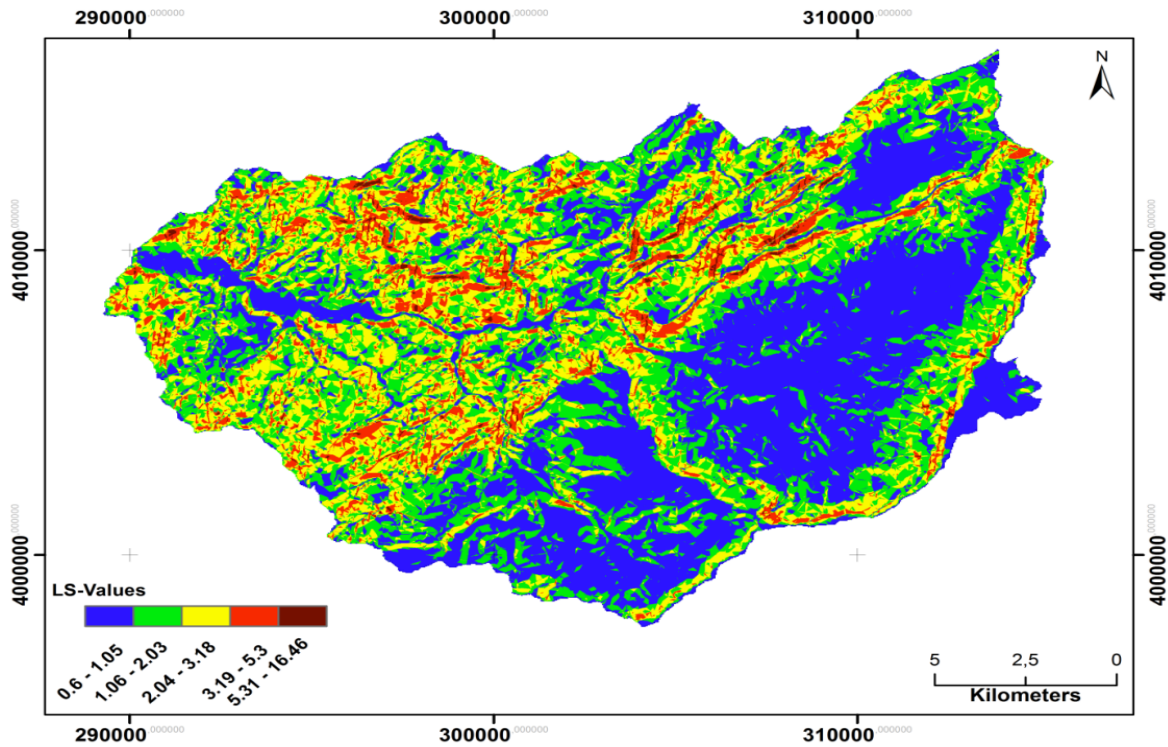


Figure 17 : La topographie LS de la zone d'étude.

Tableau18 : La topographie LS de la zone d'étude.

Classes de LS	Surface	
	Km ²	%
0,6 - 1,05	54,2	17,9
1,06 - 2,03	102,5	34,4
2,04 - 3,18	87,3	28,7
3,19 - 5,3	48,2	15,9
5,31 - 16,46	9,9	3,3
Total	302	100
La moyenne	2	
Ecarte-type	1,63	

2.1.4. L'occupation des sols

Le couvert végétal (C) est - après la topographie – le second facteur le plus important qui contrôle le risque d'érosion des sols. Dans le modèle RUSLE, l'effet du couvert végétal est incorporé au facteur d'aménagement du couvert (El Garouani et al. 2009). Il est défini comme un ratio de la perte en sol sur des terrains cultivés sous des conditions spécifiques par rapport à la perte en sol correspondante sur un terrain en jachère (Wischmeier et Smith, 1978).

Le facteur C est calculé en utilisant les équations empiriques qui contiennent des mesures sur le terrain de la couverture du sol (Wischmeier et Smith 1978 ; Renard et al. 1997). Récemment et avec l'évolution de la télédétection, les chercheurs ont développé de nombreuses méthodes pour estimer le facteur C en utilisant des valeurs de NDVI pour l'évaluation de la perte de sol avec RUSLE (De Jong, 1994 ; De Jong et al.1999 ; De Jong et Riezebos 1997 ; Wang et al.2002 ; Lin et al. 2002). Ces méthodes utilisent le modèle de régression en faisant des analyses de corrélation entre les valeurs de facteur C mesurées sur le terrain ou obtenues à partir de tables de guidage et le NDVI dérivé des images de télédétection. L'Indice de Végétation Différence Normalisée (NDVI), est un indicateur de la vigueur et de l'activité de la végétation. Le NDVI, est un indice de végétation qui estime la densité foliaire. Il est largement utilisé dans l'analyse de la végétation en raison de sa capacité à mettre en évidence des différences dans la couverture végétale qui ne sont pas facilement visibles autrement. Le calcul de cet indice est basé sur la propriété de réflectance du couvert végétal dans le spectre visible (RED) et dans le proche infrarouge (NIR). Il varie entre -1,0 (sol dépourvu de végétation) et +1,0 (une forte activité chlorophyllienne).

Pour couvrir notre zone d'étude, une scène d'image Landsat_8 OLI/TIRS acquises le 05 Mai 2014 avec une résolution spatiale de 30 m ont été utilisées. L'indice NDVI est pour est donné par la formule suivante.

$$NDVI = \frac{(\rho_{PIR} - \rho_R)}{(\rho_{PIR} + \rho_R)}$$

Où ρ_{PIR} est la bande proche infrarouge et ρ_R est la bande rouge.

Quand la photosynthèse est active, la végétation présente une haute réflectance dans le spectre proche infrarouge (Band 5 dont la longueur d'onde varie de 0,88 à 0,85 μ m, Landsat_8 OLI/TIRS), en comparaison avec la partie visible (rouge, Band 4 dont la longueur d'onde varie de 0,64 à 0,67 μ m, Landsat_8 OLI/TIRS) ; par conséquent, les

valeurs de NDVI pour la photosynthèse active seront positives. Le NDVI extrait de la zone d'étude a des valeurs qui vont de - 0,19 à + 0,62 (Figure 19).

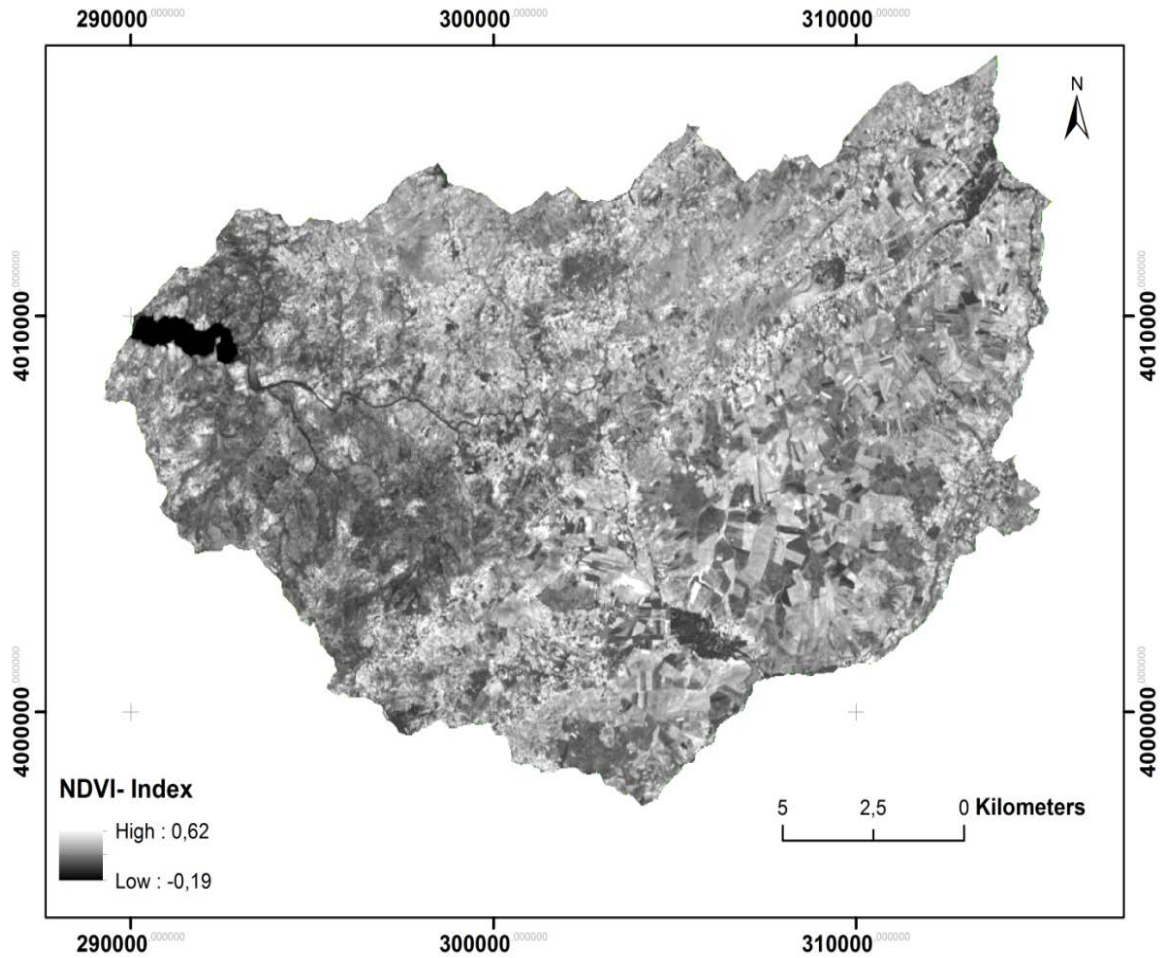


Figure 18 : l'NDVI de la zone d'étude

Pour générer l'estimation des valeurs de l'indice C sur l'ensemble de la zone d'étude au moyen du logiciel ArcGIS 10.2, nous avons utilisé la formule suivante :

$$C = \exp \left[-\alpha \frac{NDVI}{(\beta - NDVI)} \right]$$

Où α et β sont des paramètres adimensionnels qui déterminent la forme de la courbe relative à la NDVI et le facteur C.

Van der Knijff et al. (2000) et d'autres chercheurs Demirci et Karaburun (2012) ; Prasannakumar et al. (2012) ; Dimitrios et al. (2013) ont trouvé une régression linéaire droite entre l'indice NDVI et les valeurs de C en prenant-compte des paramètres α et β égale à 2 et 1, respectivement. Dans la zone d'étude les valeurs de C se situent entre 1,4 et 0,04 (figure 20).

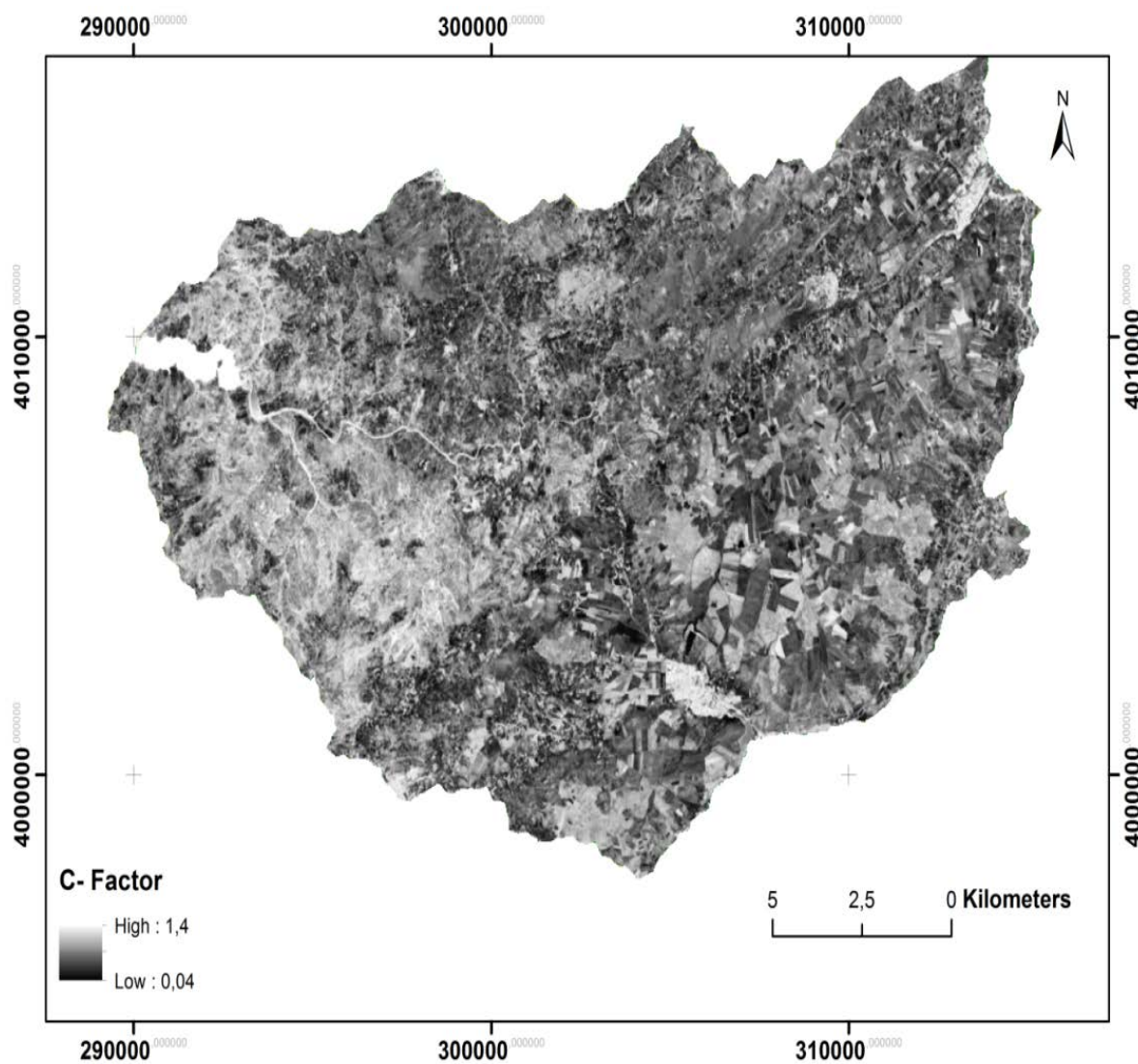


Figure 19 : Le facteur C de la zone d'étude

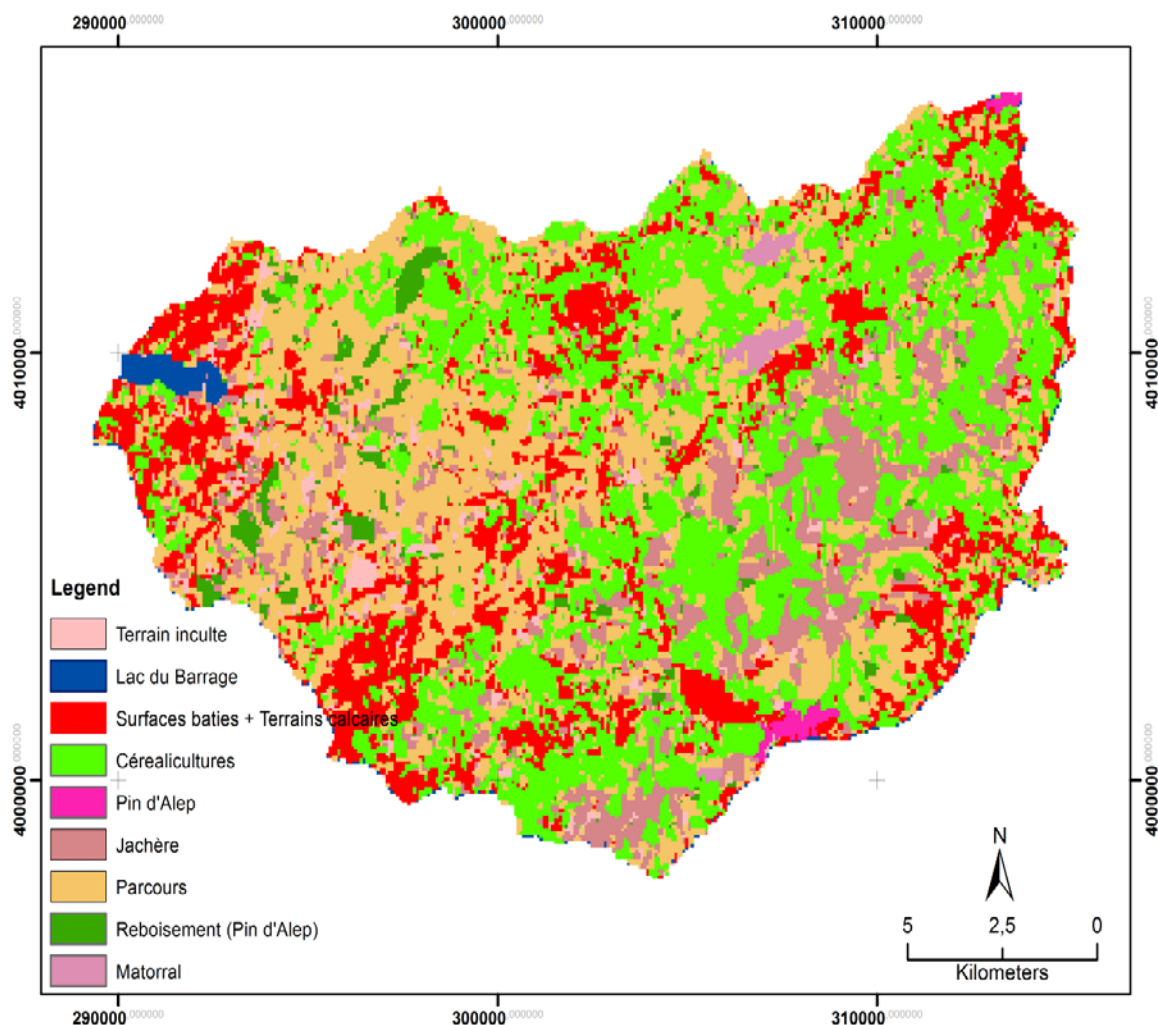


figure20 : la carte d'occupation du sol et le tableau (réalise par Z .BALKOISSA et al.,2017)

Tableau19 : Occupation des sols

Occupation des sols	Surface	
	Km ²	%
Terrain inculte	8,2	2,7
Lac du Barrage	2,9	0,9
Surfaces baties + Terrains calcaires	52,3	17,3
Cerealiculture	99,9	33,1
Pin d'Alep	1,3	0,4
Jachère	34,6	11,5
Parcours	92,9	30,8
Reboisement (Pin d'Alep)	7,7	2,5
Matorral	2,0	0,7
Total	302	100

2.1.4. Le facteur P

Les pratiques antiérosives sur des surfaces de sols cultivés sont les cultures en courbes de niveau, en bandes alternées ou en terrasses, les reboisements en banquettes, le buttage et le billonnage en courbes de niveau. Ces pratiques sont les plus efficaces dans la conservation des sols (Roose, 1977). Le facteur P chiffre ces pratiques par des valeurs qui vont de 1 pour les sols où il n'y a aucune pratique antiérosive et de 1/10 pour un sol en pente faible où l'on pratique un billonnage cloisonné. Le labour en courbes de niveau oriente la rugosité du sol perpendiculairement à la pente de telle sorte à ralentir le ruissellement. Le facteur P diminue jusqu'à 0,5 pour des pentes de 1 à 8%. Il augmente progressivement et tend vers 1 pour des pentes supérieures à 25%. Le billonnage en courbes de niveau est deux fois plus efficace que le labour en courbes de niveau (Sadiki, 2005). Dans le bassin versant de l'oued Kramissur une surface de 302 Km² n'a aucune technique d'aménagement été observée, c'est pourquoi nous avons attribué une valeur de 1 sur l'ensemble de notre zone d'étude.

Chapitre IV

1. L'estimation des pertes en sol

RUSLE est un modèle prédictif basé sur des formules empiriques relatives aux cinq facteurs qui contrôlent l'érosion hydrique tels que, l'érosivité de pluie, la vulnérabilité du sol, la topographie du terrain, le couvert végétal, et les techniques antiérosives (Prasannakumar et al. 2012).

L'évaluation des pertes de sol par l'érosion hydrique a été obtenue par la combinaison des cartes thématiques avec leurs bases de données relatives aux facteurs de l'équation universelle RUSLE au moyen de l'*analyst tool* du logiciel ArcGIS 10.2.

La carte des pertes de sol (figure 21), montre que, le taux d'érosion diffère d'une zone à l'autre selon l'influence de chaque facteur qui contrôle l'érosion hydrique. Cette perte varie de 0 t/ha/an à 765.5 t/ha/an, avec une moyenne annuelle de 27.8 t/ha/an et un écart-type de 31.2.

En Algérie, aucune classification de perte de sol n'a été signalée. D'après Wischmeier et Smith (1978), les sols peuvent supporter une perte allant jusqu'à 12 t/ha/an. Masson (1971) dans une étude de l'érosion des sols par l'eau en Tunisie, a constaté que les pertes moyennes en sol ne devront pas dépasser un seuil de 10 t/ha/an. Cette constatation est en accord avec certains travaux portant sur cet aspect dans le bassin Méditerranéen (Demirci et Karaburun, 2012 ; Ozsoy et al. 2012). D'autres chercheurs signalent que le seuil tolérable de perte en sol ne peut être plus de 5 t/ha/an (Prasannakumar et al. 2012).

Au Maroc, dans des régions similaires à notre zone d'étude, tels que les bassins de l'oued Tlata et de l'oued Boussouab leurs sols peuvent supporter une perte allant jusqu'à 7,4 t/ha/an en moyenne tout en soutenant durablement un niveau élevé de production agricole (Sadiki, 2004 ; Yjjou et al. 2014). D'après ces auteurs, si les pertes en sol dépassent un seuil de 20 t/ha/an, elles peuvent devenir fortes et dangereuses. En Tunisie, selon les travaux de Jebari et al. (2012) menés sur le bassin versant de l'oued Jannet, un seuil de tolérance de 8 t/ha/an a été suggéré, au-dessus duquel, le niveau de risque de l'érosion hydrique sera élevé.

Compte tenu du but poursuivi visant à identifier les régions participantes à l'envasement du barrage de l'oued Kramis, nous avons pris en considération tous ces seuils afin que nous

puissions diviser notre zone d'étude en secteurs traités en termes de priorité selon le degré du risque érosif. Selon ces seuils, nous pouvons considérer que les pertes en sol sont tolérables lorsqu'elles ne dépassent pas 12 t/ha/an, élevées lorsqu'elles sont comprises entre 12 et 27.8 t/ha/an et dangereuses lorsqu'elles dépassent 27.8 t/ha/an. D'après cette classification, la moyenne des pertes en sol de la zone d'étude estimée à 27.8 t/ha/an se trouve dans des secteurs à risque érosif extrême.

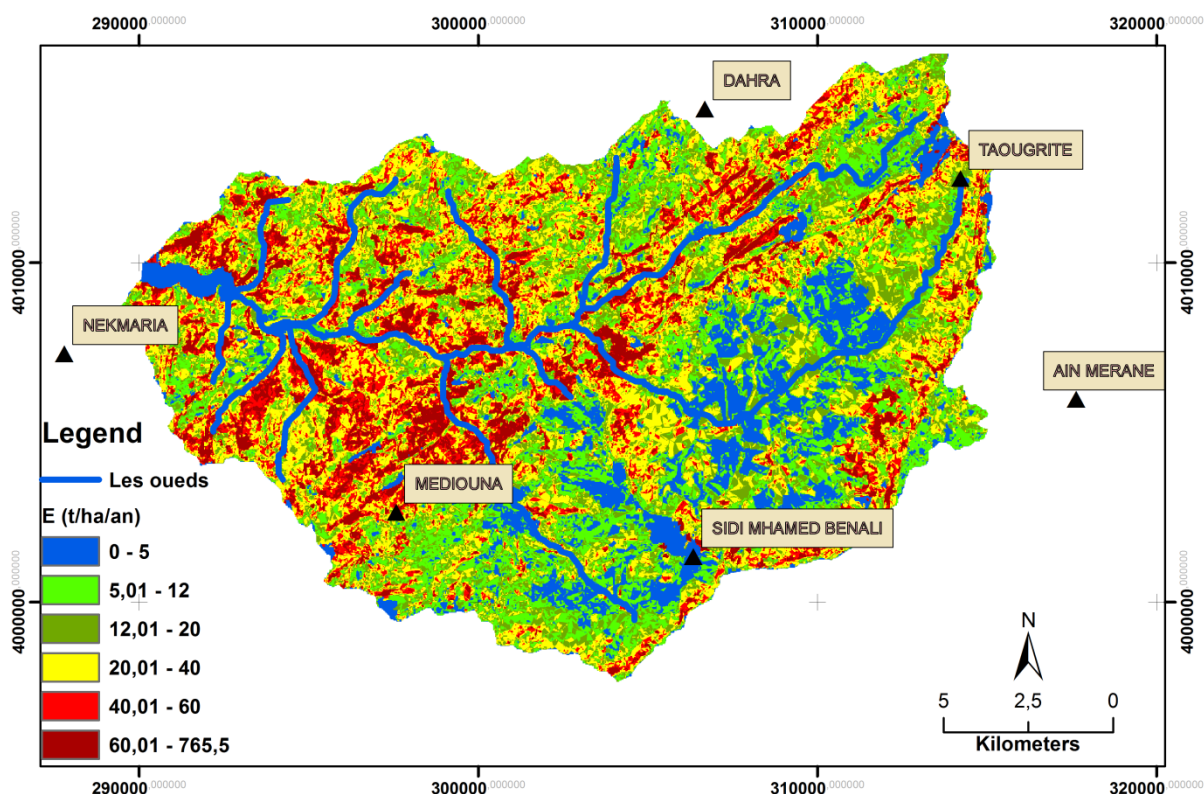


Figure 21 : Carte des pertes de sol de la zone d'étude

Tableau 20 :classe de perte de sol

E (t/ha/an)	Surface	
Classes	Km ²	%
0 - 5	36.5	12.1
5.1 - 12	59.6	19.7
12.1 - 20	55.9	18.5
20.1 - 40	85.0	28.2
40.1 - 60	36.5	12.1
+ 60	28.6	9.5
Total	302	100

Les trois catégories résultantes de la classification des pertes de sol au niveau de notre zone d'étude sont figurées sur le tableau 18 et illustrées dans la figure 22.

Tableau 21 : Les catégories de classification des pertes de sol et leurs surfaces correspondantes de la zone

Risque érosif	Classe de perte en sol (t/ha/an)	Superficie (Km ²)	Superficie (%)	Catégorie
Tolérable	0 – 12	140.7	46.6	C
Élevé	12 – 27,8	145.6	48.2	B
Extrême	+27,8	15.7	5.2	A
Total		302	100	/

d'étude

D'après le tableau ci-dessus (catégorie A), nous pouvons déduire que 46.6 % de la surface des sols du bassin versant subissent une érosion tolérable. Cette surface se localise principalement dans le secteur Sud et Sud-est de la zone d'étude. Si on se référant aux cartes de l'érodibilité et de la topographie de la zone d'étude (de 0 à 0.025 t.h/Mj.mm.) et (de 0.6 à 1.05) respectivement, on remarque les basses valeurs sont enregistrées au niveau de ce secteur (figure 21 et figure 22).

En ce qui concerne la catégorie B, on constate que 48.2% de la zone d'étude a été qualifiée comme une zone à risque érosif élevé. Cette catégorie des pertes de sol correspond à l'effet du facteur topographique LS, qui varie entre 1.06 et 2.03 et celui de l'érodibilité du sol qui comprit entre 0.025 et 0.052 t.h/Mj.mm.

Pour la catégorie A (extrême), et d'après la figure 22, on remarque que la majeure partie de cette catégorie se localise dans le secteur Ouest de la zone d'étude. Ces valeurs très élevés des pertes de sol se traduisent par des valeurs relativement importantes du facteur topographique LS ça d'une part et, par le couvert végétal d'autre part. Pour ce dernier et si on se référant à la carte de C (figure 20), nous trouvons que le risque érosif dans ce secteur est généralement élevé ceci explique nettement que le facteur couvert végétal joue un rôle de protecteur. De plus, Roose et al. (2012) montrent que le facteur C diminue le risque érosif jusqu'à 0,01 sous des cultures pérennes avec des plantes de couverture ou prairie et à 0,001 sous des forêts associées aux cultures paillées par rapport à une parcelle nue.

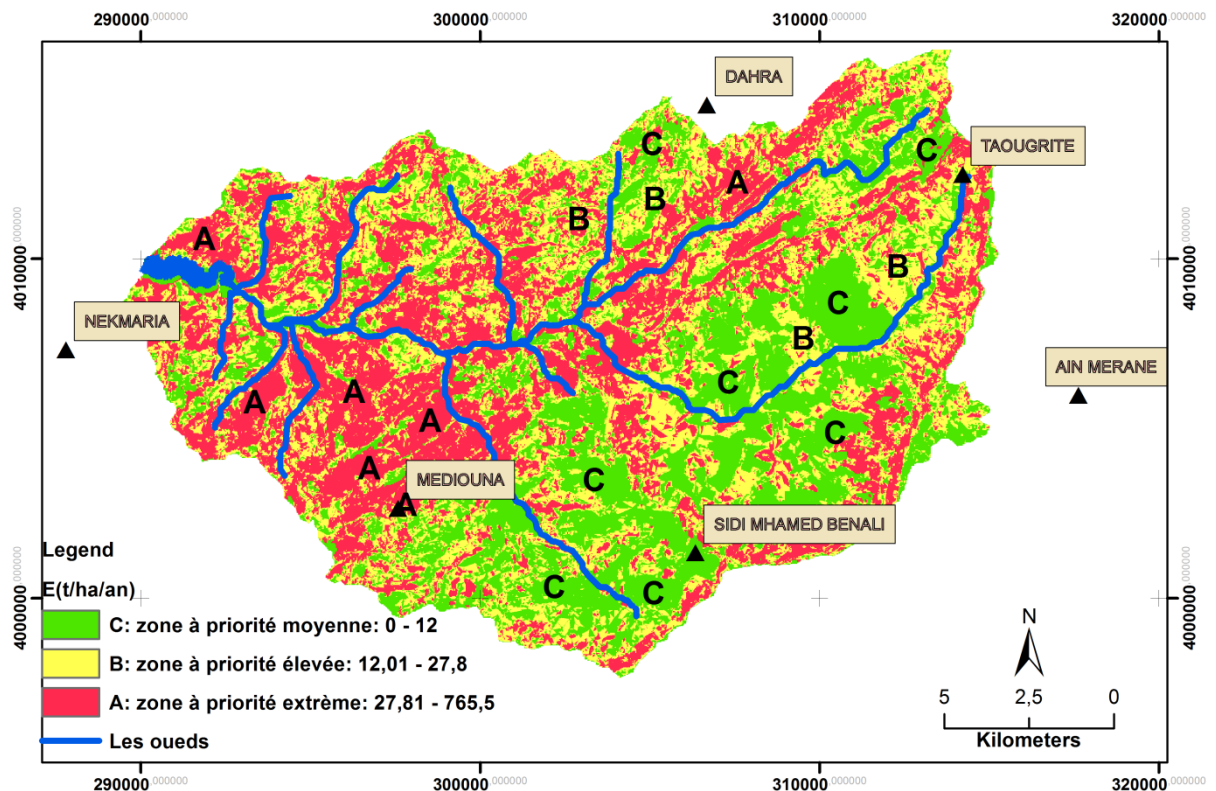


Figure22 : les zones des prioritaires

2. Conclusion

La mise en œuvre du modèle RUSLE apporte une information intéressante sur les processus en cours sur le bassin versant de l'oued Kramis. Il convient cependant de discuter les résultats annoncés dans cette étude au vu de l'échelle d'analyse, des données utilisées et du choix des équations.

L'objectif de cette étude était de montrer l'application d'un modèle largement diffusé, le modèle RUSLE, à un contexte particulier, afin de mettre en lumière les dynamiques et les dégradations à l'échelle du bassin versant. Ainsi, une modélisation de l'érosion hydrique des sols a été mise en œuvre afin d'évaluer la contribution du bassin versant oued Kramis.

Conclusion

Conclusion générale

Cette étude était de montrer l'application d'un modèle largement diffusé, le modèle RUSLE, à un contexte particulier, afin de mettre en lumière les dynamiques et les dégradations à l'échelle du bassin versant. Ainsi, une modélisation de l'érosion hydrique des sols a été mise en œuvre afin d'évaluer la contribution du bassin versant de l'Oued Kramis. La thématique de l'érosion du bassin versant soulève un certain nombre de facteurs à prendre en compte pour la faisabilité et l'aboutissement de l'étude. Le premier concerne l'exploration des données disponibles et leurs conditions d'usage. Ainsi malgré l'hétérogénéité des données, une modélisation de l'érosion des sols a pu être menée à l'échelle du bassin versant. Ces premières données permettent de mettre en évidence les zones les plus sensibles à l'érosion, il est donc possible d'établir à partir de celles-ci des mesures de gestion pour les zones les plus fragiles menacé par l'érosion.

La mise en œuvre du modèle RUSLE apporte une information intéressante sur les processus en cours sur le bassin versant de l'Oued Kramis. Il convient cependant de discuter les résultats annoncés dans cette étude au vu de l'échelle d'analyse, des données utilisées et du choix des équations.

Les données utilisées dans le cadre de cette étude sont (pluviométrie et géologiques, fichier MNT de la zone d'étude, images satellitaires complétées par des visites de terrain.). L'échelle de production des facteurs de l'équation est donc différente, par ailleurs une maille de 30 m a été choisie.

Le modèle RUSLE définit la perte en sol comme étant l'interaction de cinq facteurs de l'érosion hydrique à savoir :

Un facteur caractéristique du milieu : l'érosivité des pluies (le facteur R),

Quatre facteurs caractérisant le bassin versant à savoir : l'érodabilité du sol K, le facteur topographique combiné (LS), le couvert végétale et les pratiques culturales C et le facteur des pratiques antiérosives P.

L'utilisation des logiciels de systèmes d'information géographique (SIG) a permis d'édifier et de combiner ces différents facteurs de l'érosion, afin d'obtenir une carte de synthèse de perte en sol.

La distribution statistique montre que 49,4% de la superficie du bassin versant de l'Oued Kramis révèle une sensibilité dangereuse à l'érosion supérieure à 20 t/ha/an, tandis que 12,6% ont une sensibilité faible à l'érosion inférieure ou égale à 5 t/ha/an,

Conclusion

Les surfaces où l'érosion spécifique est supérieure ou égale à 12,1-20 tonnes/ha/an présentent environ 18,4%.

L'équation universelle de perte de sol permet d'estimer l'érosion non seulement dans les conditions actuelles d'exploitation des sols, mais aussi dans n'importe quelle autre condition.

Cette particularité ayant pour intérêt de déterminer une priorité dans les interventions d'aménagement et de conservation des sols, par l'utilisation des logiciels de cartographie permet de caractériser l'état de dégradation d'une région et planifier des interventions d'aménagements prioritaires.

Les interventions antiérosives suggérées dans ces zones sont la revégétalisation, le reboisement, la plantation d'opuntia et d'arbres fruitiers afin d'accroître le couvert végétal sur les versants. De plus afin de réduire l'érosivité du ruissellement, ces zones nécessitent la mise en place d'haies vives, de bourrelets, de cordons de pierres et de drains et d'exutoires sur les versants et de seuils dans les ravines.

Référence Bibliographique

ABRAHAMS A-D., PARSONS A-J., 1991 - Relation between sediment yield and gradient on debris-covered hillslope, Walnut Gulch, Arizona. Geol. Soc. Am. Bull 103 : 1109-1113.

ANTONI V, LE BISSONNAIS Y, THORETTE J, ZAIDI N, LAROCHE B, BARTHÈS S, DAROUSSIN J, ARROUAYS D (2006) Modélisation de l'aléa érosif des sols en contexte méditerranéen à l'aide d'un Référentiel Régional Pédologique au 1/250 000 et confrontation aux enjeux locaux, étude et Gestion des Sols, Volume 13, 3, pages 201 à 222

ARABI M., ROOSE E., 1989 - Influence de quatre systèmes de production méditerranéenne de moyenne montagne algérienne. Bulletin Réseau Erosion 9 : 39-51

AUZET A-V., 1987 - l'érosion des sols par l'eau dans les régions de grande culture : aspects agronomiques. Min Env/Min Agr, CEREG-URA 95, CNRS Strasbourg, 60 p.

BAGNOULS, F. ET GAUSSEN, H., 1955 - Saison sèche et indice xérothermique. Bull. Soc. Hist. Nat. Toulouse 83: Pp. 193-239.

BARTHES B., DE NONI G., ROOSE E., ASSELINE J., ALBRECHT A., VIENNOT M., 1998 : Influence du travail du sol et des apports sur le ruissellement et l'érosion : le cas des sols rouges de Camares dans le nord sud Aveyron. ORSTROM actualités, special érosion, 56, 31p.

Belkaoussa zahra ,2017 ;étude spatiaux temporelle de l'occupation du sol par méthode de classification orientée objet au moyen de L'ENVI 5.1 cas du bassin versant de l'oued kramiss région de Mostaganem(Algérie) .

BENCHAABANE A., 1997 - Impact de l'exploitation du prélèvement du bois de feu sur l'érosion du sol en haute montagne (cas du haut Atlas de Marrakech, Maroc). Sécheresse, 8(4) : 265-269.

BENCHETTOUH A 2012 Etude des risques d'érosion hydrique du sol au moyen du Système d'Information Géographique (SIG): cas de la zone marneuse du bassin versant de l'Oued Mina - Algérie. Mémoire de Magistère. Université Abdelhamid Ibn Badis-Mostaganem, Algérie, 83 p.

BENCHETTOUH, A., KOURI, L., JEBARI, S. 2017. Spatial estimation of soil erosion risk using RUSLE/GIS techniques and practices conservation suggested for reducing soil erosion in Wadi Mina watershed (northwest, Algeria). Arab J Geosci, 10:79 DOI 10.1007/s12517-017-287

BONN,F.,ROCHON,G.,1992-Precis de télédétection :principes et methodes ;UREF/AURELF/Presses de l'universite de quebec,vol.1.

BOUGUERRA, S. ET BOUANANI, A. 2016 Cartographie qualitative de la sensibilité du sol à l'érosion hydrique: Cas du bassin versant oued Boukiou (nord ouest de l'Algérie). Étude et Gestion des Sols, Volume 23, 2016 - pages 91 à 100.

CHEBBANI R., DJILLI K., ROOSE E., 1999 - Etude des risques d'érosion dans le bassin versant de l'isser, Algérie. Bulletin Réseau Erosion 19 : 85-95.

Référence Bibliographique

- CERDAN O. (2001).** Analyse et modélisation du transfert de particules solides à l'échelle de petits bassins versant cultivés. Thèse présentée à l'université d'Orléans. 172 p.
- CORMARY, Y. ET MASSON, J., 1963** - Application à un projet type de la formule de perte de sols de Wischmeier. Etude de conservation des eaux et du sol au Centre de recherches du génie rural de Tunisie, 26 p.
- DEBRACH, J., 1953** - Notes sur les climats du Maroc occidental. Maroc méridional. 32,Pp 12- 34.
- .DE MARTONNE, E., 1927** - Traité de géographie physique, Vol. 1. Paris. A. Colin.
- DEMMAK A., 1982** - Recherche d'une relation empirique entre les apports solides et les paramètres physico-climatiques des bassins. AISH 144 : 403-414
- Demirci et Karaburun 2012;** Demirci A, Estimation of soil erosion using RUSLE in a GIS framework: a case study in the Buyukcekmece Lake watershed, Northwest Turkey. J. Environ Earth Sci. 66:903–913
- DE PAOLA F, DUCCI D, GIUGNI M 2013**Desertification and erosion sensitivity. A case study in southern Italy: the Tusciano River catchment. Environ Earth Sci 70:2179–2190
- DENIS. A. 2012.** travaux pratiques sur les systèmes d'informations géographiques (SIG), initiation à arc gis, Université de Liège (ULg), Belgique, 10 p
- DIMITRIOS DA, DIOFANTOS GH, ATHOS A 2013** Integrated use of remote sensing, GIS and precipitation data for the assessment of soil erosion rate in the catchment area of "Yialias" in Cyprus. J Atmos Res 131: 108–124
- Diodato, 2004.**Estimating Rusle's rainfall factor in the part of Italy with a Mediterranean rainfall regime. J Hydrol Earth Syst Sci 8:103–107
- Diodato et Bellocchi, 2007)** MedREM, a rainfall erosivity model for the Mediterranean region. J Hydrol 387:119–127
- ECOLE POLYTECHNIQUE FÉDÉRALE DE LAUSANNE (EPFL), 2003** - Estimation à l'aide de MapInfo de la pluviométrie moyenne interannuelle selon différentes méthodes-Application au bassin versant de la Broye à Payerne (VD, Suisse). Exercice n° HG 0302- Corrigé, 6 p.
- EL GAROUANI A.,CHEN H.,LEWIS L.,2007**-the impacts of land use/land cover changes and climat regime on the spatial patterns of erosion and deposition by remote sensing and GIS : Case of tlata river catchment (Morocco) and international conference of GIS/RS in hydrology,Water resources and environment,Guangzhou,china, September 7-13,2007
- EKERN P. C. 1950.** Raindrop impact as the force initiating soil erosion. Soil Science Society of America Proceedings, 15:7–10
- ELLISON W. D. 1944.** Studies of raindrop erosion. Agricultural Engineering, 25:131–136, 181–182.

Référence Bibliographique

EMBERGER, L., 1930 - La végétation de la région méditerranéenne: essai d'une classification des groupements végétaux. Rev. Gen. Bot. 42: 641-662, Pp. 705-721.

EMERSON, W. W. & GREENLAND D. J. 1990. Soil aggregates - Formation and stability. Dans de Boodt, M. F., éditeur, Soil colloids and their association in aggregates, pages 485–511. Plenum Press, New York.

FAO, ORGANISATION DES NATIONS UNIS POUR L'ALIMENTATION ET L'AGRICULTURE, 1994. Introduction à la gestion conservatoire de l'eau, de la biomasse et de la fertilité des sols (CGES). Bulletin Pédologique de la FAO n°70, 420p

FOSTER G.R., 1990. Process – Based modelling of soil erosion by water on agricultural land. In :Soil erosion on agricultural land (J. Bourdman, IDL. Foster, JA. Dearing, eds). John Willey and Sons Ltd. Chichester (UK), 229-245. **Foster, 2004.**) User's reference guide. Revised universal soil loss equation version 2 (RUSLE2). National Sedimentation Laboratory, USDA-Agricultural Research Service, Washington, DC, p 418

Fu et al., 2005. Assessment of soil erosion at large watershed scale using RUSLE and GIS: a case study in the loess plateau of China. Land Degrad Dev 16:73–85

FURUSHO ,Y .,2008-étude du fonctionnement hydrologique d'un bassin versant périurbain :LA CHEZINE ,thèse en science et technique des environnements urbain ,Université de Nante,67p

GARCIA-RUIZ J., LASANTA T., RUIZ-FLANO P., ORTIZA L., WHITE S., GONZALEZ C., MARTI C., 1996 - Land use changes and sustainable development in mountain areas : a case study in the Spanish Pyrenees. Landscape Ecology 11(5) : 267-277.

GEORGES Y., 2008. Contribution à l'évaluation de l'érosion dans le bassin versant de la rivière grise en Haïti. Mémoire de Master, faculté universitaire des sciences agronomiques, Liège(Belgique) ,90p

GOMER, D., 1994 - Ecoulement et érosion dans des petits bassins versants à sols marneux sous climat semi-aride méditerranéen. Thèse de Doctorat. Université de Wasserbau (en Allemand) Karlsruhe.Allemagne. 207 p

HADIR, SOFIA .2010. Modélisation du ruissellement et de l'érosion par le modèle STREAM dans le bassin versant de l'Oued Saboun. Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II – B.P. 6202 – Instituts, 10101 Rabat. 7p

HICKEY,R,2000-Slope Angle And Slope Lenth Solution For GIS Cartography ,N29,pp.1-8

Jose L, Garcia R, Martin C, Gimenez S 2012 Methodology for estimating the topographic factor LS of RUSLE3D and USPED using GIS. Geomorphology 175–176:98–106

KALMAN, R., 1967 - Le facteur climatique de l'érosion dans le bassin de Sebou. Projet Sebou, Rapp. Inédit, 40 p.

Référence Bibliographique

KAURAK LEITE L.A. 1990. Réflexion sur l'utilité des modèles mathématiques dans la gestion de la pollution diffuse d'origine agricole. Thèse, ENPC, Paris, 342 pages + Annexes.

KHADER M, BENABDELI K, MEDERBAL K, FEKIR Y, GUEDDIM R ET MEKKOUS B., 2009. Etude du risque incendie à l'aide de la géomatique : cas de la forêt de Nesmoth (Algérie), MEDITERRANEA SERIE DE ESTUDIOS BIOLÓGICOS, Universidad de Alicante, Departamento de Ecología. Facultad de Ciencias, Época II, N° 20, 39 p.

KOURI L, GOMER D 2010 Analyse des processus de ravinement et détermination de la sensibilité des terrains marneux dans le Tell oranais (Algérie), Sécheresse, Volume 21, Numéro 4. Pp: 257–265.

KOURI, L., 1993- L'érosion hydrique des sols dans le bassin versant de l'Oued Mina. Etude des processus et type de fonctionnement des ravins dans la zone des marnes tertiaires. Thèse de doctorat, Université Louis Pasteur, Strasbourg, France, 237 p.

KRYNINE D., JUDD W., 1957 - Principles of engineering geology and geotechnics.

Mcgraw Hill book company Inc., 730 p.

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

LE BISSONNAIS, 1990 - Experimental study and modelling of soil surface crusting

LE BISSONNAIS Y. & LE SOUDER C. 1995. Mesurer la stabilité structurale des sols pour évaluer leur sensibilité à la battance et à l'érosion. Étude et Gestion des Sols, 2(1):43–56.

LE BISSONNAIS, Y. 1996. Aggregate stability and assessment of soil crustability and erodibility: I. Theory and methodology. European Journal of Soil Science, 47:425–437.

Lee et Heo 2011 Evaluation of estimation methods for rainfall erosivity based on annual precipitation in Korea. J Hydrol 409:30–48

LIU, J.G., ET J. M., PHILIPPA, 2009 Essential Image Processing and GIS for Remote Sensing. John Wiley & Sons Ltd Publication. www.wiley.com/wiley-blackwell

LONGLEY, P.A., M.F. GOODCHILD, D.J., MAGUIRE, D.W., RHIND, 2009. Geographical Information Systems and Science 2nd Edition. John Wiley & Sons Ltd Publication.

Longley et al., goodchild M., Maguire d., rhind d ., (2004)-geographic information systems and science and edition-p 65

LUDWING B., AUZET A.V., BOIFFIN J., KING D. AND CHADOEUF J., 1996. Etat de surface, structure hydrographique et érosion en rigole des bassins versants cultivés du Nord de la France. Revue d'Etude et Gestion des Sols, Vol. 3, N°1 ; p. 53-70.

Référence Bibliographique

- LUMBUENAMO, S.R., 2008** - note de cours de télédétection, photo interprétation et photogrammétrie. université de kinshasa, faculté des sciences agronomique, deuxième grade, cours inédit, 40p
- MAZOUR M., 1992** - Les facteurs de risque de l'érosion en nappe dans le bassin versant de l'oued Isser : Tlemcen, Algérie. Bulletin Réseau Erosion 12 : 300-313.
- MERIAUX S., 1961** - Action du chaulage sur les composantes de la structure et sur l'état de saturation du sol. Compte rendu à l'Académie d'Agriculture, 322-325.
- MIDEKOR, A. WELLES, J. 2007**. Initiation à ArcGis renforcement structurel de de la capacité de gestion des ressources en eau pour l'agriculture dans le bassins du Kou, association pour la promotion de l'éducation et de la formation à l'étranger, Bobo-Dioulasso
- MORSLI B., 1996** : Caractérisation, distribution et susceptibilité { l'érosion des sols de montagnes. Cas des monts de Beni Chougrane. Thèse de magistère, INA, Alger, 170p.
- MORGAN R., 1986** - Soil erosion & conservation. In : D-A. Davidson, editor, John Wiley and Sons Inc., 253 p.
- MOSS A.J., WALKER P.H., HUTKA J. 1980**. Movement of loose, sandy detritus by shallow water flows: An experimental study. *Sedimentary Geology*, 25(1-2):43-66.
- MORSLI B, HABI M, MAZOUR M, HAMOUDI A, HALITIM A 2012** Erosion et ruissellement en montagnes méditerranéennes d'Algérie du Nord: analyse des facteurs conditionnels sous pluies naturelles et artificielles. *Rev Mar Sci Agron Vét* ;
- Nekhay et al., 2009** Evaluation of soil erosion risk using analytic network process and GIS: a case study from Spanish mountain olive plantations. *J Environ Manag* 90:3091-3104
- Ozsoy et al., 2012**. Determination of soil erosion risk in the Mustafakemalpaşa River basin, Turkey, using the revised universal soil loss equation, geographic information system, and remote sensing. *J Environ Manag* 50:679-694
- Pascal et Olivier, 2015** Influence de la susceptibilité à l'érosion hydrique des bassins-versants sur l'évolution du rivage: exemples dans le sud de la Nouvelle-Calédonie, pp 269-278
- PANAGOS P, MEUSBURGER K, BALLABIO C, BORRELLI P, ALEWELL C 2014** Soil erodibility in Europe: a high-resolution dataset based on LUCAS. *Sci Total Environ* 479-480:189-200
- PEDUZZI. P., 2009**. Initiation à la télédétection. Notes du cours « satellites et applications ». Université de Genève.
- PIMENTEL D, HARVEY C, RESOSUDARMO K, SINCLAIR K, KURZ D, MCNAIR M, CRIST S, SHPRITZ L, FITTON L, SAFFOURI R, BLAIR R 1995** ,Environmental and economic costs of soil erosion and conservation benefits. *Science* 267:1117-1123

Référence Bibliographique

POESEN J-W., VANDAELE K., VAN WESEMAEL B., 1998a - Gully erosion : importance and model implications. In : Boardman J., Favis-Mortlock D., editors. Modeling soil erosion by water, NATO ASI series I, vol. 55, Springer, Verlag Berlin Heidelberg, 285-311.

Prasannakumar et al., 2012 Estimation of soil erosion risk within a small mountainous sub-watershed in Kerala, India, using revised universal soil loss equation (RUSLE) and geo-information technology. *Geosciences Frontiers* 3(2):209–215

Rango et Arnoldus 1987 Aménagement des bassins versants. Cahiers techniques de la FAO

Renard et al., 1997, Predicting soil erosion by water: a guide to conservation planning with the revised universal soil loss equation (RUSLE). Agricultural handbook no. 703. US Department of Agriculture, Agricultural Research Service, Washington, DC 404 pp

ROOSE E.1973. Dix-sept années de mesure de l'érosion et du ruissellement sur un sol ferrallitique sableux de basse Côte d'Ivoire. Thèse Doct. Ing. Fac. Sci. Abidjan n°20, ORSTOM, N° 125p.

ROOSE E.1994. Introduction à la gestion conservatoire de l'eau, de la biomasse et de la fertilité des sols (GCES). Bulletin pédologique de la FAO. N° 70, 420p.

SADIKI A, MESRAR H, FALEH A, CHAAOUAN J 2012 , Modelisation et cartographie des risques de l'érosion hydrique: cas du bassin versant de l'oued larbaa, Maroc. ISSN: 0213-1781. Papeles de Geografía 55-56:179–188

SAUVAGE, CH., 1963 - Etages bioclimatiques. Notice et carte au 1 /200 0000 ème. Atlas du Maroc Sect. II. P1. 6b. Comité Géographie Maroc. Rabat.

Smith, H.J., Van Zyl, A.J., Claasens, A.S., Schoeman, J.L. & Laker, M.C., 2000: Soil loss modelling in the Lesotho Highlands Water Project catchment areas, *South African Geographical Journal*, 82: 64-69.

STEWART, P., 1969 - Quotient pluviothermique et dégradation biosphérique. *Bull Soc Hist Nat Afri Nord*; 59 : Pp. 23-36

THORNES J-B., 1995 - Mediterranean desertification and the vegetation cover.

Toumi S (2013) Application des techniques nucléaires et de la télédétection à l'étude de l'érosion hydrique dans le bassin versant de l'Oued Mina. Thèse de Doctorat Es-Sciences, L'école nationale supérieure d'hydraulique, Algérie, 175 p

TOUAIBIA, B., GOMER, D., AÏDAOUI, A. ET ACHITE, M., 2001 - Quantification et variabilité temporelles de l'écoulement solide en zone semi-aride, de l'Algérie du Nord. *Journal des sciences hydrologiques* 46 (1), Pp. 41-53.

Référence Bibliographique

Torriet et al., 2006; Torri D, Borselli L, Guzzetti F, Calzolari MC, Bazzoffi P, Ungaro F, Bartolini D, Salvador Sanchis MP (2006) Italy. In: Boardman J, Poesen J (eds) Soil erosion in Europe. Wiley, Chichester, pp 245–261

TOUAIBIA, B. ET ACHITE, M., 2003 - Contribution à 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). Pp. 235-242.

TOUMI S 2013, Application des techniques nucléaires et de la télédétection a l'étude de l'érosion hydrique dans le bassin versant de l'Oued Mina. Thèse de Doctorat Es-Sciences, L'école nationale supérieure d'hydraulique, Algérie, 175 p

Van der Knijff et al. 2000 Van Soil erosion risk assessment in Europe. EUR 19044 EN, European Soil Bureau, Space Application Institute, JRC, Ispra, p 34

Wang et al., 2002 Improvement in mapping vegetation cover factor for the universal soil loss equation by geostatistical methods with Landsat thematic mapper images. Int J Remote Sens 23(18):3649–3667

WILLIAMS, J. R., AND H. D. BERNDT, 1977. Sediment yield prediction based on watershed hydrology. Trans. Am. Soc. Agric. Eng., 20, 1100-1104.

WISCHMEIER, W.H. ET SMITH, D.D., 1965 - Prediction rainfall erosion losses from cropland east of the Rocky Mountains: a guide for selection of practices for soil and water conservation. U.S.D.A. Agric. Handbook, 282 p.

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 p.

WISCHMEIER WH, SMITH DD 1978 Predicting rainfall erosion losses—a guide to conservation planning. USDA agriculture handbook, vol 537. GPO, Washington DC

Yjjou et al., 2014. (2014) Modélisation de l'érosion hydrique via les SIG et l'équation universelle des pertes en sol au niveau du bassin versant de l'Oum Er-Rbia. The International Journal Of Engineering And Science (IJES) 3(8):83–91.

l'érosivité des pluies R

: $R_{MedREM} = b_0 \cdot P \cdot \sqrt{d (\alpha + b_1 \cdot L)}$ (Mj.mm/ha.h.an)

$$NDVI = \frac{(\rho PIR - \rho R)}{(\rho PIR + \rho R)}$$

Indice de végétation

$$C = \exp\left[-\alpha \frac{NDVI}{(\beta - NDVI)}\right]$$

La pluviométrie interannuelle

$$P_{moy} = \frac{\sum_{i=1}^n S_i P_i}{S}$$

. Indice de Desfontaines modifié

ID= b. c

Où :

b : nombre moyen de jours de pluies du mois ≥ 20 mm/24 heures.

c : % de pluies mensuelles tombées sous forme de pluies journalières ≥ 20 mm.

Le quotient pluviothermique et les étages bioclimatiques d'Emberger

$$Q2 = 1000 \cdot P / (M-m) [(M+m)/2]$$

Où :P : précipitations moyennes annuelles (mm).

M : température moyenne des maxima du mois le plus chaud (°K).

m : température moyenne des minima du mois le plus froid (°K).

Et autre méthode

$$Q2 = 3,43 \cdot P / (M-m)$$

Q2 : Le quotient pluviométrique d'Emberger ;

P : Pluviométrie annuelle en (mm) ;

M : Moyenne des maxima du mois le plus chaud en (°C) ;

m : Moyennes des minima du mois le plus froid en (°C).

L'indice d'aridité climatique de De Martonne (1927)

$$I = P / (10 + T)$$

Grille d'interprétation

$7,5 < I < 10$ climat steppique.

$10 < I < 30$ climat semi-aride.

$30 < I < 50$ climat tempéré.

Longueur du rectangle équivalent (L)

$$L = (KC\sqrt{S} \left[1 + \sqrt{(1 - (1.12 \div KC)^2)} \right])$$

Largeur du rectangle équivalent (l)

$$l = (KC\sqrt{S} \left[1 - \sqrt{(1 + (1.12 \div KC)^2)} \right])$$

Indice de pente global (Ig)

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

Dénivelée spécifique (Ds)

$$DS = I_g \cdot \sqrt{S}$$



Figure N°1 :Le tracé distinct formé par les eaux de ruissellement est un signe d'érosion en rigoles ayant emporté le sol.



Figure N°2 : Sans intervention, l'érosion en rigoles peut mener à l'érosion par Ravinement



Figure N° 3 : Sans intervention, l'érosion en rigoles peu mener à l'érosion par ravinement

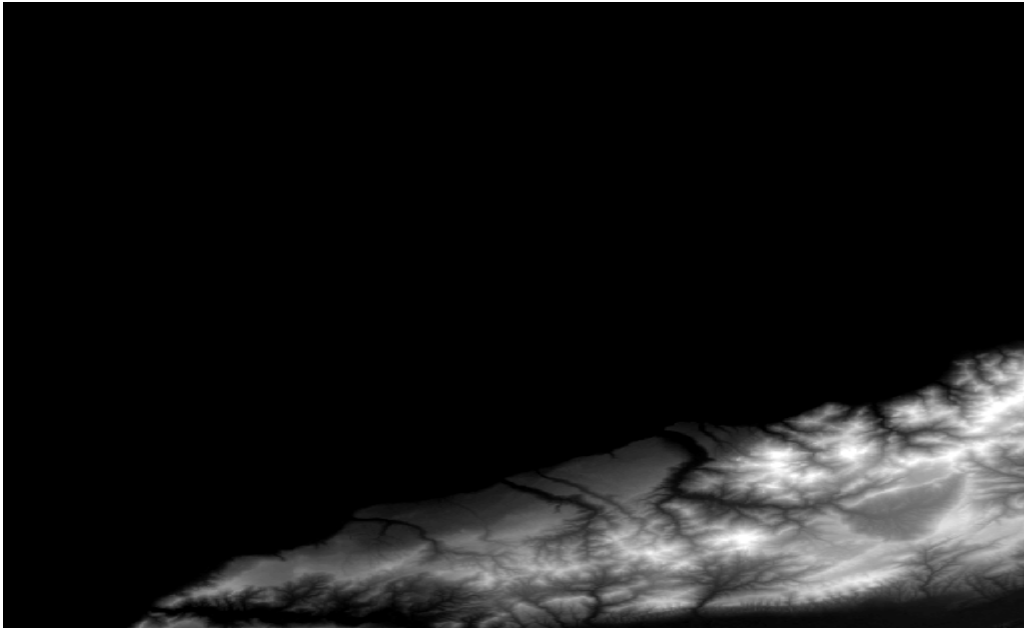


Figure 04 :fichier du MNT31

Rusumé

Le présent travail porte sur la cartographie des zones à risque d'érosion hydrique des sols dans le bassin oued kramis ,la cartographie du risque d'érosion hydrique est élaborée sur la base de la méthode de RUSLE ,les cartes thématiques obtenues sont intégrées dans un système d'information géographique SIG pour donner une carte de risque d'érosion hydrique ,carte qui est validée par des observations de terrain ,les principaux résultats obtenus mettent en évidence les pentes modérées à très modérées , avec des altitudes allant de 63 à 757m et plus , les sols ont généralement un couvert végétal faible ,ainsi ,la carte de risque d'érosion obtenue 67.8% du site étudié sont exposés à un risque dangereux,cette carte est un guide pour les décideurs dans une nouvelle stratégie ayant pour objectif principal une meilleure gestion des ressources en eau et en sol

Mots clé ; érosion hydrique ,SIG ,bassin versant ,oued kramiss

Abstract

Study of soils water erosion risks in the wadi Kramis watershed .

The aim of work is the production of a map of water erosion risk areas in the wadi Kramiss watershed. The mapping of water erosion risk is elaborated based on the method developed by RUSLE. The thematic maps thus obtained are then fed into a geographical information system (GIS) for outputting a map of water erosion risks for the soils of the area which is validated by field data. The main results obtained underline the weakness of the annual rainfall erosivity index. The area is extremely uneven, with altitudes ranging from 63 m to 757 m and above. On medium to abrupt slopes, the soil vegetable cover is generally low to non-existent. Thus the erosion risk map obtained shows that 45% of the zone studied is a high risk area. The antierosive operations suggested include technical measures as well as biological, this map is a guide for decision-makers into a program whose main objective should be a better management of water and soil resources.

Key words: water erosion, GIS, watershed,Wadi Kramiss

ملخص

هذه الدراسة تهدف إلى رسم خريطة للمناطق المعرضة لخطر الحث المائي في حوض التصريف لودايكراميس , حيث اعتمدنا في ذلك على نموذج ريزل لخرائط الناتجة ثم ادراجها في نظام المعلومات الجغرافية سيق من أجل الحصول على خريطة خطر الحث المائي النتائج المحصلة تبين ان شدة تأثير المطر على التربة ضعيفة

وان التضاريس جد وعرة مع تدهور الغطاء النباتي 67.8% من المنطقة معرضة للخطر لغالبية اجراءات التهنية المقترحة عبارة عن وسائل تقنية وبيولوجية الخريطة النهائية تمثل وسيلة توجيه في يد المسيرين لوضع برنامج تهيئة من أجل تسير افضل للموارد المائية والترايبية

الكلمات المفتاحية : الحث المائي, نظام المعلومات الجغرافية , حوض التصريف, وكراميس