

Université Abd Elhamid Ibn Badis De Mostaganem

Faculté Des Sciences De La Nature Et De La Vie

Département D'agronomie

Mémoire de fin d'étude

Pour l'obtention du diplôme de master en agronomie

Spécialité

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

Thème

Approche cartographique des aménagements antiérosifs cas : du bassin
versant de l'Oued Kramis (Algérie)

Présenté Par :

BENHACHEM Idriss

Soutenue 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

Session de juin-Année universitaire: 2016/2017

Tableau de matières

Dédicaces	
Remerciements	
Liste des figures	
Liste des planches	
Liste des tableaux	
Introduction générale	
Chapitre I : Etude physique du milieu	
1- Cadre physique	3
1.1- Situation géographique	3
1.2- Géologie de la zone d'étude	4
1.3- La géomorphologie	5
1.3.1- Exposition	5
1.3.2- L'hypsométrie	6
1.3.3- Les pentes	8
1.3.4- Lithologie	9
1.3.5- Réseau hydrographique	10
1.3.6- L'occupation du sol (C)	11
2- Contexte bioclimatique	13
2.1- Les stations pluviométriques	13
2.2- les précipitations	14
2.2.1- Coefficient d'abattement de la pluie Ki	14
2.2.2- Indice de Desfontaines modifié (1968)	15
2.3- Les températures	16
2.4- Synthèse bioclimatique	17
2.4.1- L'indice de continentalité ou indice de Debrach	18
2.4.2- Le quotient pluviothermique et les étages bioclimatiques d'Emberger	19
2.4.3- L'indice d'aridité climatique de De Martonne (1927)	19
2.4.4- Le diagramme Ombrothermique de Bagnouls et Gausson (1953)	20
Conclusion	21
Chapitre II : Aperçu bibliographique sur l'érosion hydrique et méthodes d'aménagement antiérosif	
1- Généralité sur l'érosion hydrique	22
1.1- Définition de l'érosion	22
1.2- L'érosion hydrique: Origine et mécanismes	22
1.2.1- Le détachement	22
1.2.2- Le transport des particules et la formation des croûtes de battance	24
1.2.3- La sédimentation (dépôt)	25
1.3- Facteurs de l'érosion hydrique	25
1.3.1- Le climat	25
1.3.2- La végétation	26

Tableau de matières

1.3.3- L'utilisation des terres	26
1.3.4- La topographie	26
1.3.5- Les sols	26
1.3.6- La lithologie	27
1.4- Les forme de l'érosion hydrique	27
1.4.1- Erosion en nappe	27
1.4.2- Érosion linéaire	27
1.4.3- Érosion en masse	28
1.5- Conséquences de l'érosion hydrique	29
1.5.1- les conséquences dans la zone de départ des sédiments (on-site effects)	29
1.5.2- les conséquences sur les lieux de dépôt (off-site effects)	29
2-Méthodes d'aménagement antiérosif	30
2.1-Méthodes culturale antiérosifs	31
2.1.1- Pratiques agricoles	31
2.1.2- Les bandes alternées	31
2.1.3- La double dérayure	32
2.2- Méthodes et techniques de protection antiérosive	32
2.2.1- Méthodes et techniques mécaniques	32
2.2.2- Méthodes et techniques biologiques	37
3- Généralité sur Le système d'information géographique (SIG)	38
Chapitre III : Matériel et Méthodes	
1-Diagnostic et identification des problèmes majeurs	40
2-Critères retenus pour le choix des zones prioritaires	42
3- Mécanisme d'action pour l'application de la méthodologie	42
4-Matière utilises pour la carte d'aménagement	42
4.1-Carte utilisées	42
4.2-Logiciel utilisé	43
5. Approche méthodologique adoptée	44
Chapitre IV : Résultats et discussion	
1- Carte topographie LS	45
2-Carte d'érodibilité des sols	46
3-Détermination de l'ordre des zones prioritaire	47
4-Carte des zones prioritaire d'interventions	48
5-Plan d'aménagement	48
6-Proposition d'aménagement	48
6.1- Zone de première priorité	49
6.1.1- Correction torrentielle	49
6.2- Zone de deuxième priorité	52
6.2.1- Banquettes	52
6.2.2- Terrasses	53

Tableau de matières

6.2.3- Les cordons de pierres (stone bonds)	54
6.3- Zone de troisième priorité	55
6.3.1- Assolement et rotation des cultures	55
6.3.2- Le labour conservatoire	55
6.3.3- Cultures intercalaires	56
6.3.4- Les clôtures en haies vives	56
6.3.5- Les cordons en pierres sèches	56
7- La carte d'aménagement antiérosif bassin versant oued Kramis	58
Conclusion	

Resumé

Le problème d'érosion hydrique est mondial, l'Algérie est touchée par ce phénomène qui reste dangereux car il accélère la dégradation du sol soumis à l'énergie cumulée des gouttes de pluies.

Le bassin versant de l'Oued Kramis d'une surface de 302 Km² subit une perte moyenne de terre par l'érosion en nappe de 27,8 t/ha/an.

L'objectif de cette étude est de réaliser une carte de zone prioritaires d'intervention pour essayer de proposer un plan d'aménagement antiérosif pour les trois zones avec un ordre de priorité pour chacune, pour éviter le développement de risque d'érosion sur les terres agricoles. Pour chaque zone une combinaison de mesures d'aménagement à la fois préventives (biologique) et curatives (mécanique) ont été proposé, mais leurs durabilité est conditionnée par la participation de la population locale.

Mots-clés: d'érosion hydrique, dégradation, sol, l'Oued Kramis, bassin versant

abstract

The problem of water erosion is global, Algeria is affected by this phenomenon which remains dangerous because it accelerates the degradation of the soil subjected to the cumulative energy of the raindrops.

The Oued Kramis catchment area with an area of 302 km² undergoes an average loss of soil by the groundwater erosion of 27.8 t / ha / year.

The objective of this study is to produce a map of priority areas of intervention to try to propose an anti-erosion management plan for the three zones with an order of priority for each one, to avoid the risk of erosion on the zones farming lands. For each zone a combination of both preventive (biological) and curative (mechanical) management measures has been proposed, but their sustainability depends on the participation of the local population.

Keywords : Water erosion, degradation, soil, Oued Kramis, management

ملخص

الانجراف المائي مشكلة عالمية ، تتأثر الجزائر بهذه الظاهرة ، التي لا تزال خطيرة حيث يسارع في تدهور بسبب الطاقة المتراكمة من قطرات المطر.

تقدر مساحة حوض واد كراميس 302 كيلومترا مربعا يخضع إلى خسارة في التربة تقدر بي 27.8 طن / هكتار / سنة.

والهدف من هذه الدراسة هو تحديد المناطق ذات الأولوية في التدخل من اجل محاولة لاقتراح خطة إدارة مكافحة التعرية للمناطق الثلاثة معينة مع ترتيب الأولويات على حسب تآكل على حوض . لكل منطقة تم اقتراح مجموعة من خطط التهئة منها البيولوجية والميكانيكية، ولكن بشرط استدامتها وضمن مشاركة السكان المحليين.

الكلمات المفتاحية : الانجراف المائي، التدهور، التهئة، التربة، حوض

Dédicace

Je dédie ce modeste travail à

Mes très chers parents.

En hommage à tous les sacrifices que vous avez consenti pour moi durant toutes mes années d'études, je vous remercie d'avoir fait de moi ce que je suis maintenant et de m'avoir appris à vivre dans l'honneur et dans la dignité. Aucune dédicace, aucun mot, ne saurait exprimer réellement mon profond amour, mon respect et ma vive gratitude.

Veillez trouver dans ce travail fruit de tous vos sacrifices.

A toute ma famille Proche soit-elle ou lointaine et surtout BENHACHEM et ISMAILI

A mon frère **BELARBI Azzedine**

Tous mes amis de la promotion 2012- 2017.

Tous ceux qui me sont chers et que j'ai omis de citer.

Idriss.

Remerciements

Au moment de clôturer ce mémoire, nous remercions en premier Dieu de nous avoir donné la force la patience et le courage de terminer ce travail

Nous adressons aussi nous remerciment à Mr HADDAD A d'avoir accepté de nous encadrer et de suivre notre travail de près avec sa rigueur scientifique et ses conseils qui nous ont bien orienté dans l'élaboration de ce travail.

Egalement nous remercions Mr BEN CHETTOUH A, Co-promoteur pour sa disponibilité toute au long de la réalisation du ce travail, ses conseils précieux, son sérieux et sa détermination dans le travail.

Nous remercions vivement Mr BOUALEM A d'avoir accepte de présider le jury de notre soutenance

Nous exprimons notre gratitude à Mr HARTANI A nous les remercions vivement d'avoir accepté d'examiner ce travail.

Nos remerciements les plus sincères vont également aux responsables conservation des forêt de Mostaganem et le directeur de barrage Kramis pour les données qui ont met à notre disposition, ainsi que leur soutien et leurs orientations.

Nos remerciment notre collègues dans conservation des forêts de Mostaganem pour ses conseils et leur soutien

Enfin, nous exprimons notre reconnaissance à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à notre formation.

Idriss

Liste des figures

Liste des figures

Figure 1	Localisation du bassin versant de l'oued Kramis	3
Figure 2	Carte d'exposition du bassin versant de l'oued Kramis	5
Figure 3	Courbe hypsométrique du bassin versant de l'oued Kramis	6
Figure 4	Carte hypsométrique du bassin versant de l'oued Kramis	7
Figure 5	Carte des pentes du bassin versant de l'oued Kramis	8
Figure 6	Réseau hydrographique du bassin versant de l'oued Kramis	10
Figure 7	Carte d'occupation du sol du bassin versant de l'oued Kramis	11
Figure 8	Précipitations moyennes mensuelles de la station de Sidi Mhamed Benali	14
Figure 9	Coefficient d'abattement (Ki)	15
Figure 10	L'indice de Desfontaines	16
Figure 11	Régime thermique interannuel de la station de Sidi Mhamed Benali	18
Figure 12	Le diagramme Ombrothermique	20
Figure 13	La carte du risque d'érosion	43
Figure 14	Approche méthodologique de l'étude	44
Figure 15	La topographie LS du bassin versant de l'oued Kramis	45
Figure 16	Carte d'érodibilité du sol du bassin versant de l'oued Kramis	46
Figure 17	Carte des zones prioritaires d'intervention de notre zone d'étude	48
Figure18	Carte d'aménagement du bassin versant de l'oued Kramis	59

Liste des tableaux

Liste des tableaux

Tableau 1	Les surfaces des orientations des reliefs	6
Tableau 2	Classes de pente du bassin de l'oued Kramis	9
Tableau 3	Les différentes classes lithologiques des sols de la zone d'étude	9
Tableau 4	Les classes des Occupation des sols	12
Tableau 5	Pluviométrie moyenne interannuelle de la zone d'étude	13
Tableau 6	Données climatiques de la station de Sidi Mhamed Benali	14
Tableau 7	Températures moyennes interannuelles (°C) de la station de Sidi Mhamed Benali	17
Tableau 8	L'indice de continentalité de la région d'étude	18
Tableau 9	L'indice bioclimatique d'Emberger, L	19
Tableau 10	L'indice de De Martonne	20
Tableau 11	Formes de l'érosion linéaire	28
Tableau 12	Les classes des pertes de sol du bassin versant de l'oued Kramis	42
Tableau 13	Les classes de la topographie LS de la zone d'étude	45
Tableau 14	Les principales catégories texturales de la zone d'étude	46
Tableau 15	Les catégories de classification des pertes de sol	47
Tableau 16	Coordonnées d'implantation des retenues collinaires et de l'ouvrage de capture de sédiments dans les oueds	58

Liste des planches

Liste des planches

Planche 1	Rejaillissement du sol et de l'eau suite à l'impact d'une goutte d'eau	23
Planche 2	Pratiques agricoles en Algérie	31
Planche 3	Montagne aménagée en terrasse	33
Planche 4	Les banquettes	33
Planche 5	Murettes en pierre sèches	34
Planche 6	Cordons de pierres sèches	35
Planche 7	Correction torrentielle	35
Planche 8	Haies vives	36
Planche 9	Plantation d'opuntia	37
Planche 10	Révégetalisation atriplex	37
Planche 11	Illustration de l'état de dégradation de notre zone d'étude	41
Planche 12	Correction par fixation biologique	50
Planche 13	Gabion en escalier	52
Planche 14	Schéma descriptif d'une terrasse	53
Planche 15	Evolution d'un cordon pierreux	54
Planche 16	Seuil de en pierre sèche	57

Liste des abréviations

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.
kg	Indice de compacité de Gravelius
Longueur	L
SBV	Les sous bassins versants
h	heures
moy	moyenne
max	Maxima maximales
min	Minimales
mm	millimètres.
Ki	Coefficient d'abattement de la pluie
°C	Degré Celsius
°K	Kelvin
RUSLE	Revised Universal Soil Loss Equation (Equation universelle de perte en terre révisée)
ha	hectare
t	tonnes
WGS84	World Geodetic System 1984.
km	Kilomètre
MJ	Mégajoules.
an	Année
T°	Température

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 réalisation d'un scénario d'aménagement antiérosif pour le bassin de l'oued Kramis 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.

La planification scientifique pour la conservation des eaux et des sols exige la connaissance des facteurs qui causent la perte de ces derniers. Cette connaissance peut contribuer au développement du détail des directives pour le choix de la commande pratique mieux adaptée aux besoins particuliers de chaque emplacement (Filippo, 2006).

Ainsi, ce travail a été subdivisé en quatre chapitres:

I- Etude physique du milieu.

II- Aperçu bibliographique sur l'érosion hydrique et méthodes d'aménagement antiérosif.

III- Matériel et Méthodes.

IV- Résultats et discussion.

Introduction

Cette partie est consacrée à une description générale de notre zone d'étude afin de donner les indications géographiques et climatiques; bases indispensables à la future compréhension des mécanismes de l'érosion hydrique .pour la réalisation du plan d'aménagement des terres.

1- Cadre physique

1.1- Situation géographique

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. (Figure. 1).

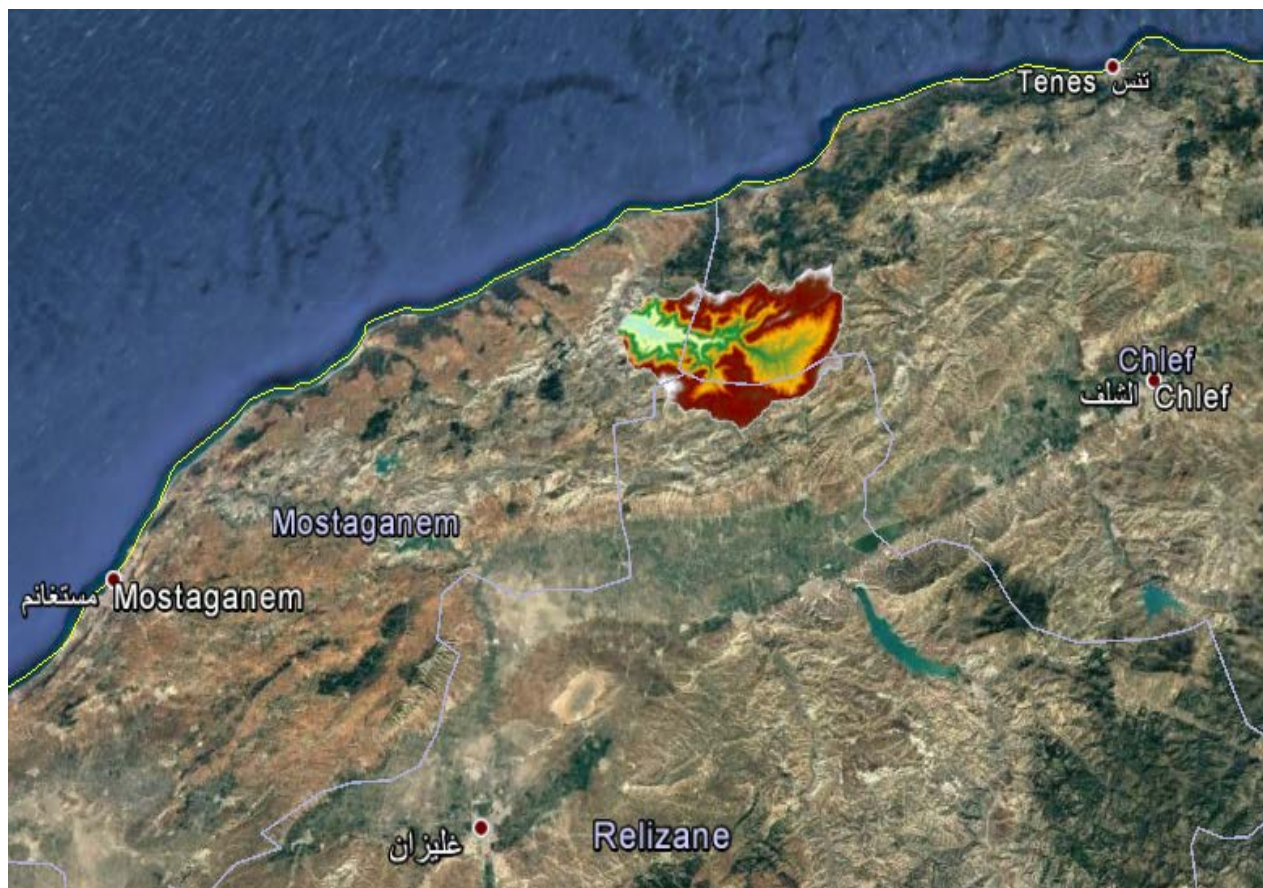


Figure 1 : Localisation de la zone d'étude

Le bassin versant Oued Kramis se situe entre les latitudes Nord de 36° 16' 00'' et 36° 6' 30'' et les longitudes Est de 0° 39' 30'' et 0° 56' 30'' (Projected Coordinate System: Nord_Sahara_1959_UTM_Zone_31N)

Vu son importance socioéconomique, le bassin versant de l'oued Kramis, est dotée en aval d'un barrage d'eau d'une capacité de 45 Millions m³. Ce barrage a été mis en service en 2004 pour 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.

1.2- Géologie de la zone d'étude

L'information géologique a été prise de la carte géologique à l'échelle 1/500000 d'Oued Okris 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.

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.

1.3- La géomorphologie

1.3.1- Exposition

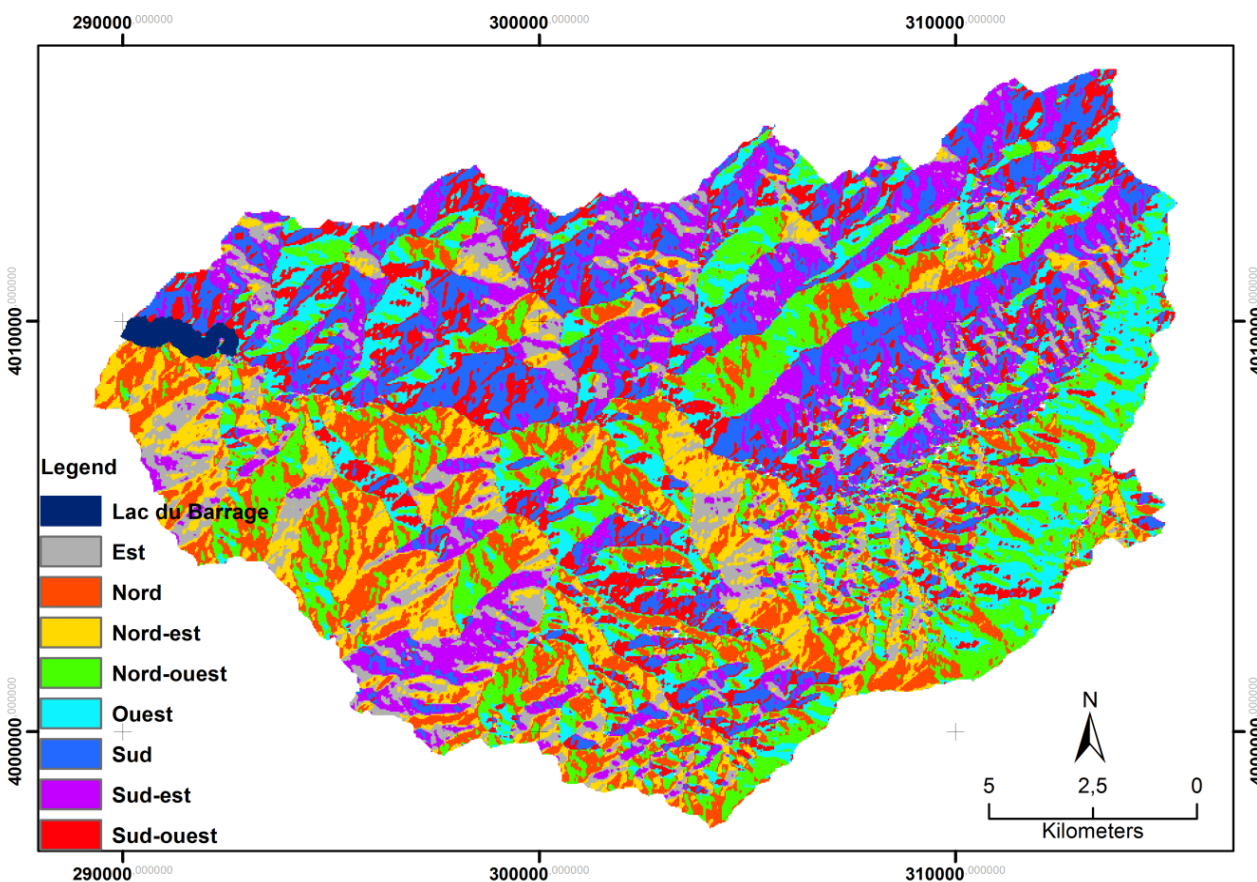


Figure 02: Carte d'exposition de la zone d'étude (Réalisée par : BELKALEM, A et BENHACHEM, I., 2017)

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).

Ainsi, l'exposition des reliefs est dominée principalement par l'orientation nord-ouest (15.6 % de la surface de la zone d'étude) (tableau 01).

Tableau 01 : les surfaces 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 Sud ont un pourcentage de surface supérieur à ceux (14%) du Nord (13,8%), ainsi que les versants à exposition Ouest avec un pourcentage (12,4%) supérieur à celui exposition est (9,1%).

1.3.2- L'hypsométrie

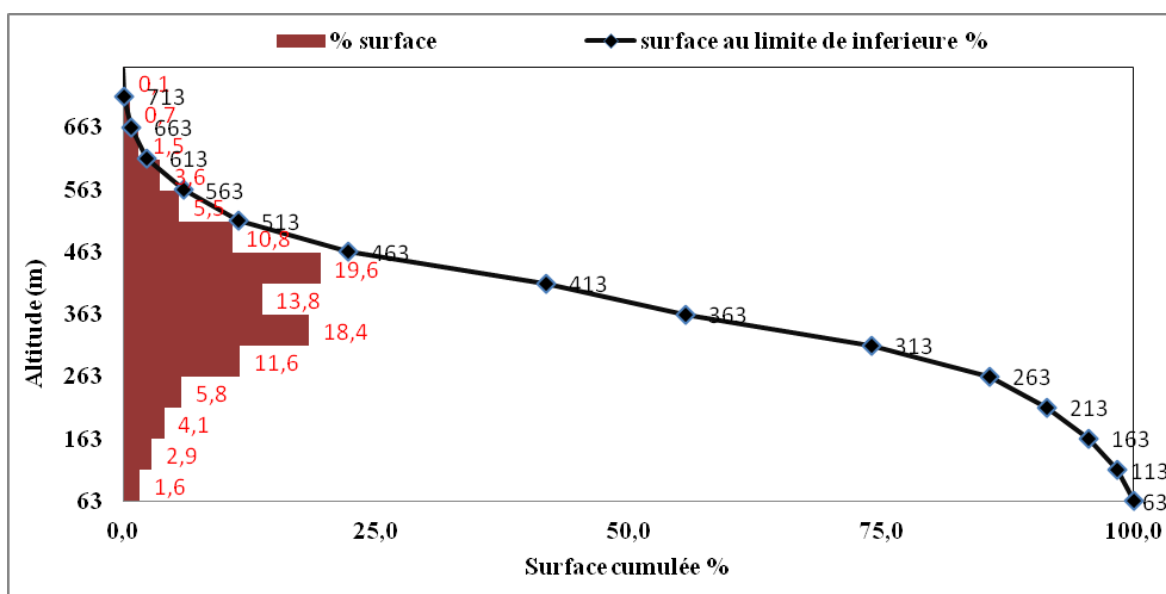


Figure 03: Courbe hypsométrique de l'oued Kramis (Réalisée par : BELKALEM, A et BENHACHEM, I., 2017)

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 où se trouve le SBV1, 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.

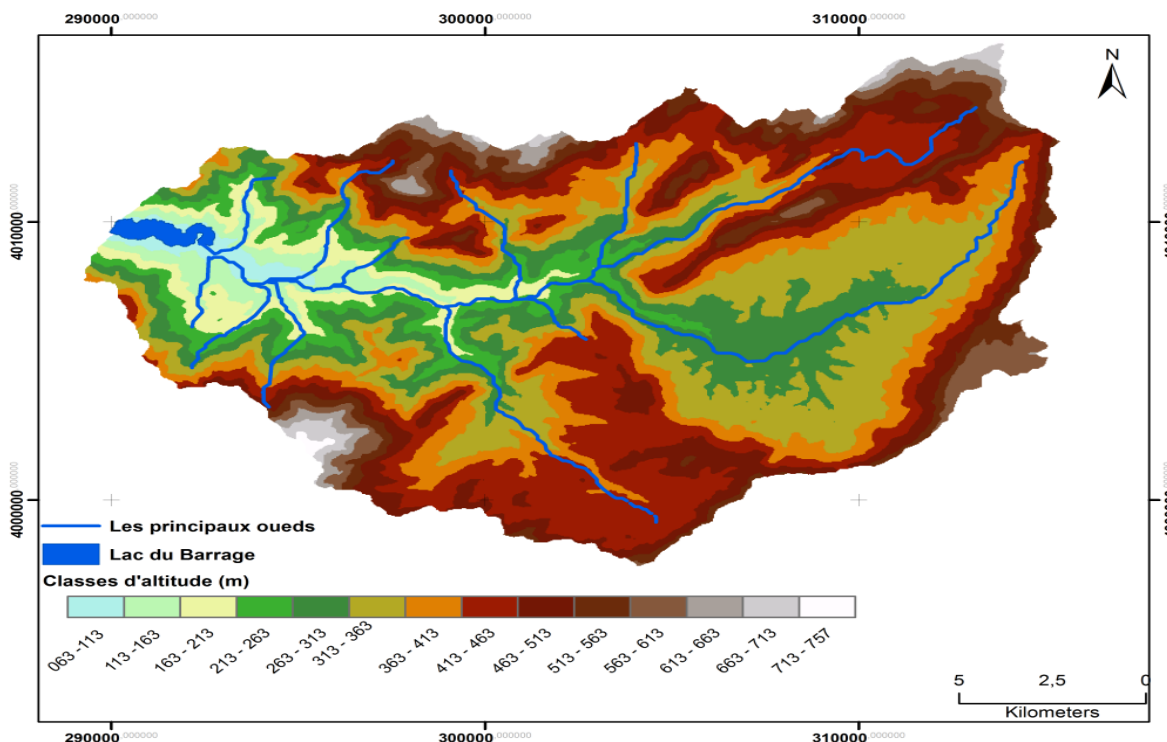


Figure 04 : carte hypsométrique de la zone d'étude (Réalisée par : BELKALEM, A et BENHACHEM,I.,2017)

D'après la figure 04, on déduit que, les grands sous bassins versants (SBV1, SBV2 et SBV3) en terme de surface situés dans le secteur Est où ils occupent une surface de 69% de la surface de la zone d'étude sont caractérisés par des courbes de niveaux bien écartés, tandis que, la partie médiane et celle de l'ouest (SBV4, SBV5, ... SBV17) de la zone d'étude est caractérisée par des

courbes de niveaux bien serrées ce qui explique que ces régions sont caractérisées par des pentes raides, où elles couvrent une surface de 31% de la zone d'intérêt.

1.3.3- Les 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 ($\leq 5\%$) (Tableau 2). La majeure partie de ces deux classes des pentes se situe exclusivement dans le SBV1 et SBV3 ainsi le secteur amont du SBV2. Au niveau du barrage et du réseau hydrographique, les pentes deviennent faibles avec un relief plat (figure 05).

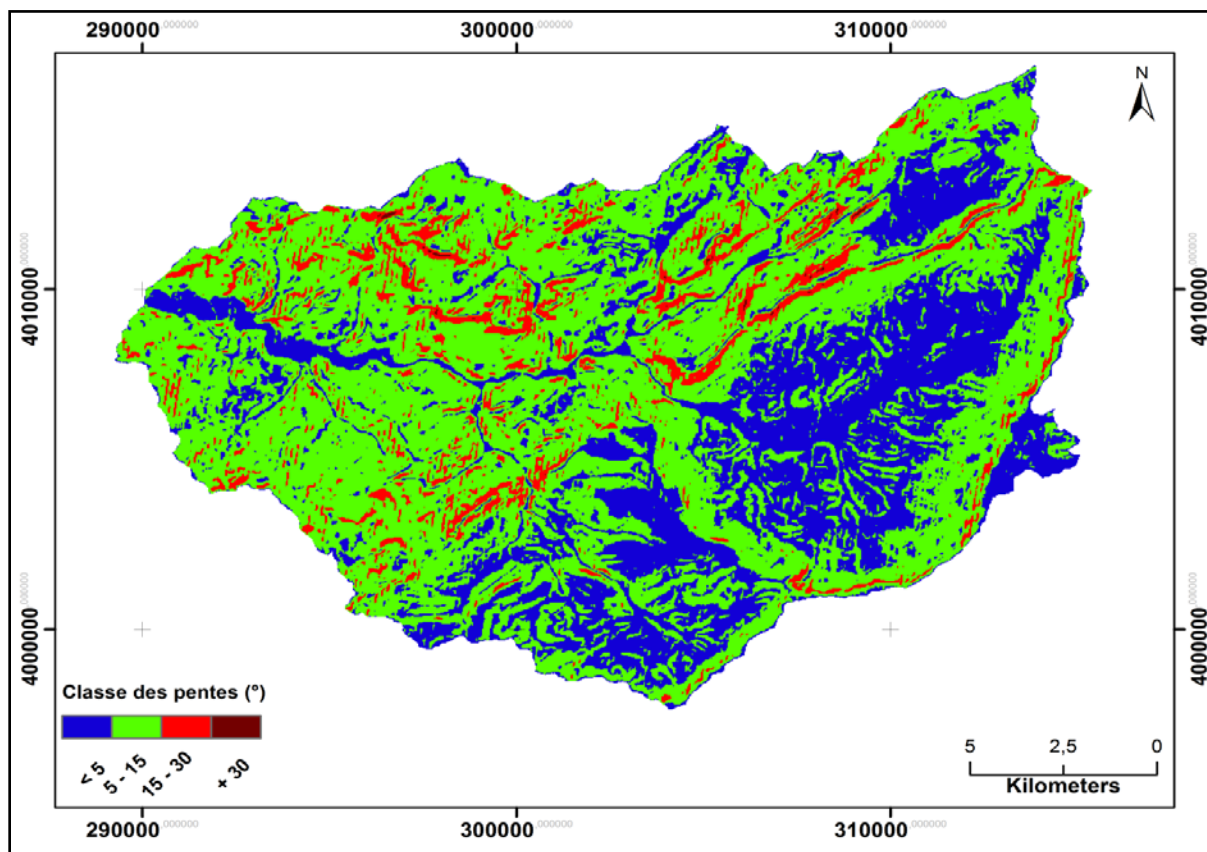


Figure 05 : Carte des pentes de la zone d'étude (Réalisée par : BELKALEM, A et BENHACHEM, I., 2017)

Tableau 02 : 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

1.3.4- 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). Le tableau 3 résume la lithologie rencontrée dans la zone d'étude Réalisé par (BENCHETTOUH,A et al ,2017)

Tableau 03 : les différentes classes lithologiques des sols 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

1.3.5- Réseau hydrographique

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 Nekkmaria. 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 06, la zone d'étude présente un réseau hydrographique assez dense 3.7 km/km^2 . Ce qui montre une activité importante de l'aléa érosif, en particulier à l'échelle du secteur sud-ouest de la zone d'étude.

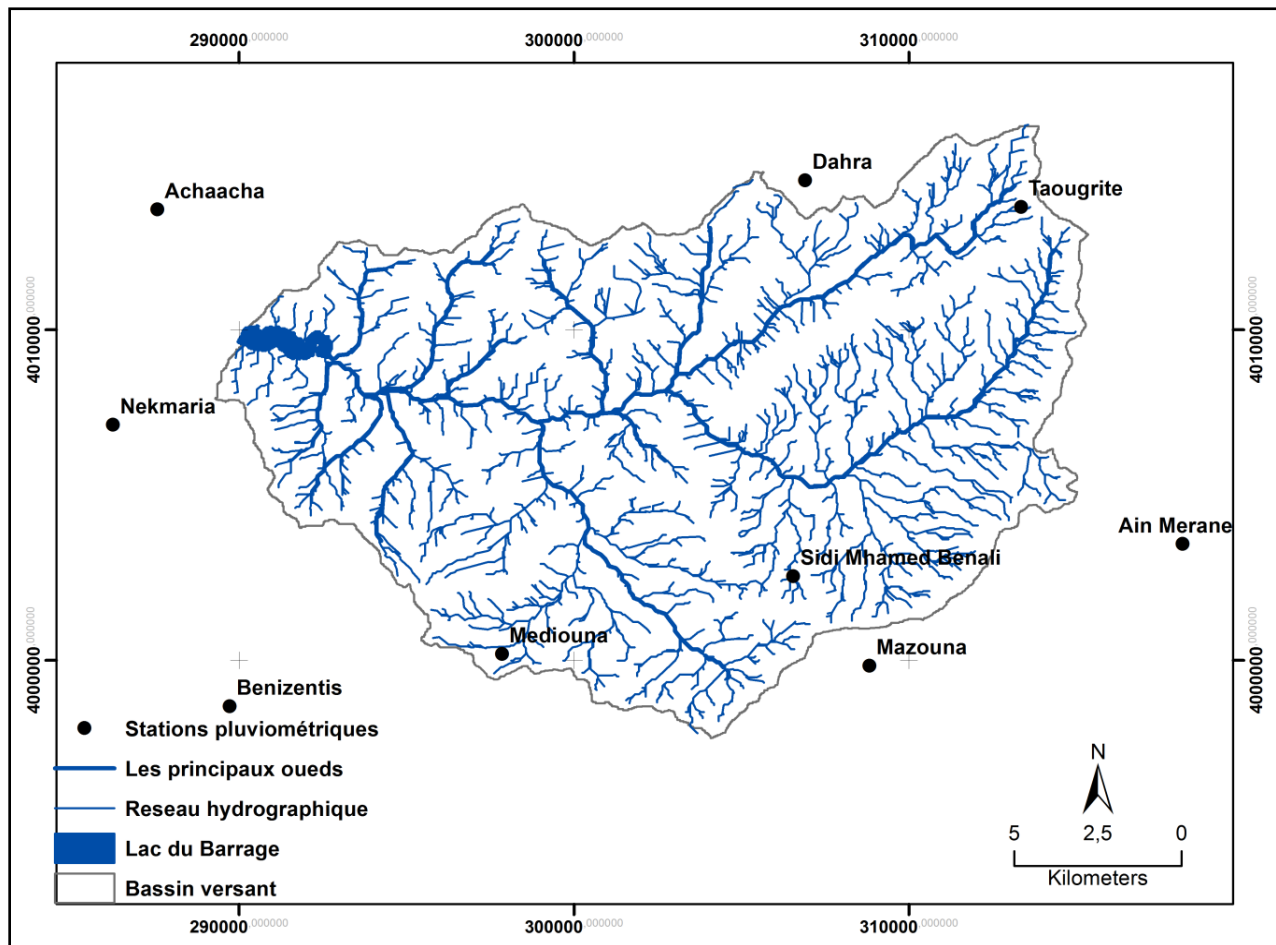


Figure 06 : Réseau hydrographique de la zone d'étude (Réalisée par : BELKALEM, A et BENHACHEM,I.,2017)

1.3.6- L'occupation du sol (C)

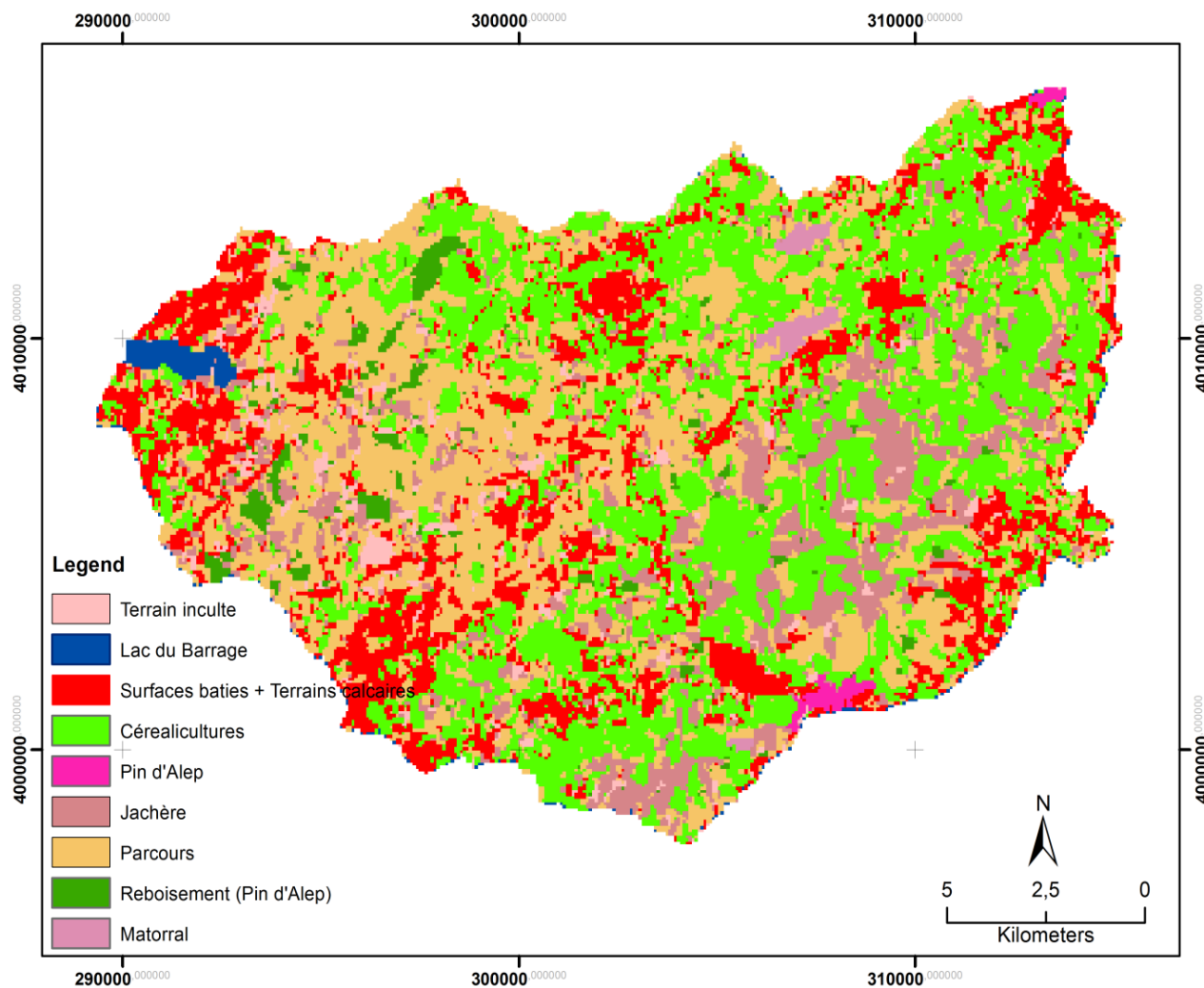


Figure 7 : Carte d'occupation du sol de la zone d'étude (Réalisé par :BELKAOUSSA,Z., 2017)

Tableau 4 : L'occupation des sols du bassin d'Oued Kramis

Occupation des sols	Surface	
	Km ²	%
Terrain inculte	8,2	2,7
Lac du Barrage	2,9	0,9
Surfaces bâties + Terrains calcaires	52,3	17,3
Céréalicultures	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

Dans la zone d'étude la céréaliculture couvre plus de 33.1% de superficie totale et les parcours couvrent 92,9 Km² soit 30,8 % de la superficie totale de la zone d'étude

2- Contexte bioclimatique

Le Nord de l'Algérie où règne un climat méditerranéen semi-aride, est particulièrement affecté par l'érosion hydrique. Ceci est dû aux longues périodes de sécheresse suivies d'orages avec de violentes chutes de pluies érosives, tombant sur des pentes raides aux sols fragiles (roches tendres, couvert végétal dégradé) (Bouguerra et Bouanani, 2016).

2.1- Les stations pluviométriques

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 et min), les précipitations mensuelles, nous avons choisis celle de Sidi Mhamed Benali comme étant une station de référence de notre région d'étude. Le choix de la station de Sidi Mhamed Benali a été reposé sur les paramètres suivants :

Ses précipitations moyennes annuelles (417.5 mm/an) sont proches aux précipitations moyennes annuelles de l'ensemble des stations de la zone d'étude (424.9 mm/an) ainsi que sa localisation au milieu de la zone d'étude.

Tableau 05 : Pluviométrie moyenne interannuelle de la zone d'étude (1994-2016)

Station	Localisation	P (mm)	P moyennes(mm)
Taougrite	dans la zone	453.6	424.9
Mazouna	hors zone	449.7	
Sidi Mhamed Benali	dans la zone	417.5	
Dahra	hors zone	427.6	
Ain Merane	hors zone	451.9	
Nekmaria	hors zone	410.2	
Achaacha	hors zone	431.8	
Khadra	hors zone	406,5	
Benizentis	hors zone	395.7	
Mediouna	dans la zone	386.2	
Dadas	hors zone	340,0	

La pluviométrie moyenne interannuelle sur l'ensemble de la zone d'étude est estimée à: $P_{\text{moy}} = 424.9 \text{ mm/an}$. Cette valeur est proche de la pluviométrie moyenne interannuelle

enregistrée dans la station de Sidi Mhamed Benali. Cette dernière sera prise en considération pour déterminer la variation interannuelle des précipitations et les différents indices climatiques.

2.2- les précipitations

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 06).

Tableau 06: Données climatiques (1994-2016) 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

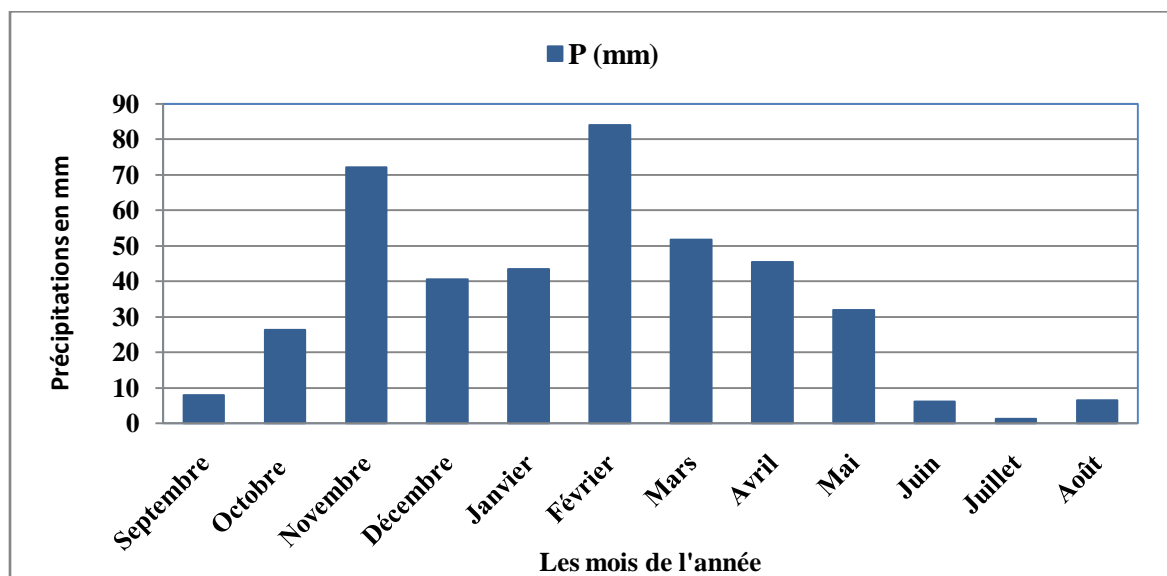


Figure 08: Précipitations moyennes mensuelles de la station de Sidi Mhamed Benali (1994-2016)

2.2.1- 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 08).

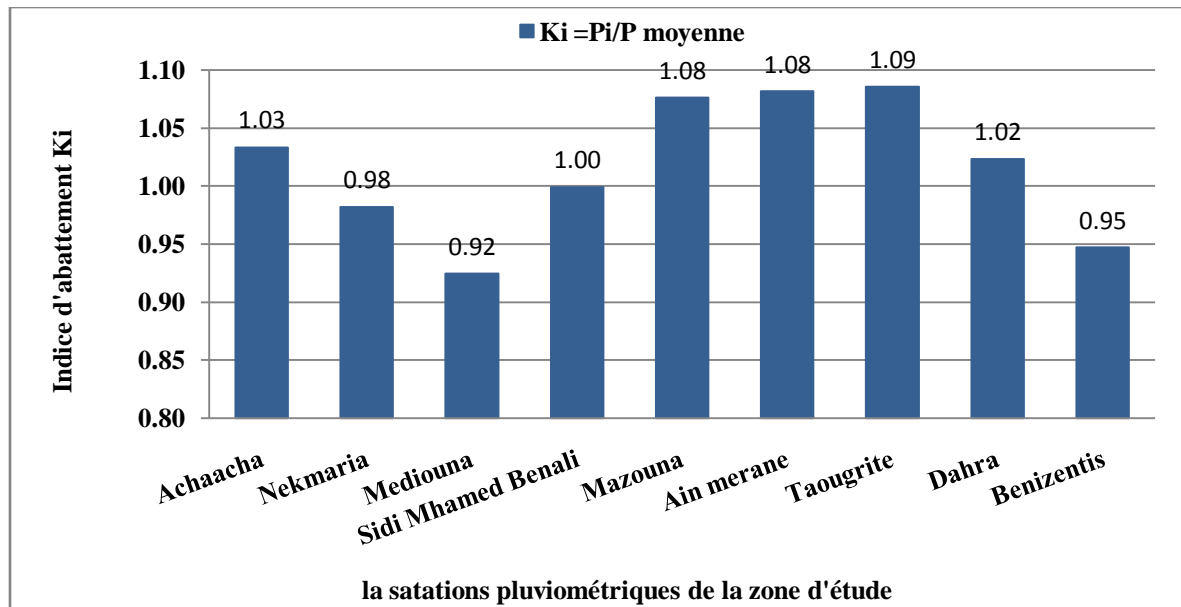


Figure 09: Coefficient d'abattement (Ki) (1994-2016)

D'après la figure 09, 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.

2.2.2- Indice de Desfontaines modifié (1968)

Cet indice est utilisé à l'échelle mensuelle afin de classer les mois de l'année les plus agressifs. 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 la zone d'étude montrent que, 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. La station de Sidi Mhamed Benali dans le bassin versant de l'oued Kramis a été choisie en raison de la disponibilité de données pluviométriques.

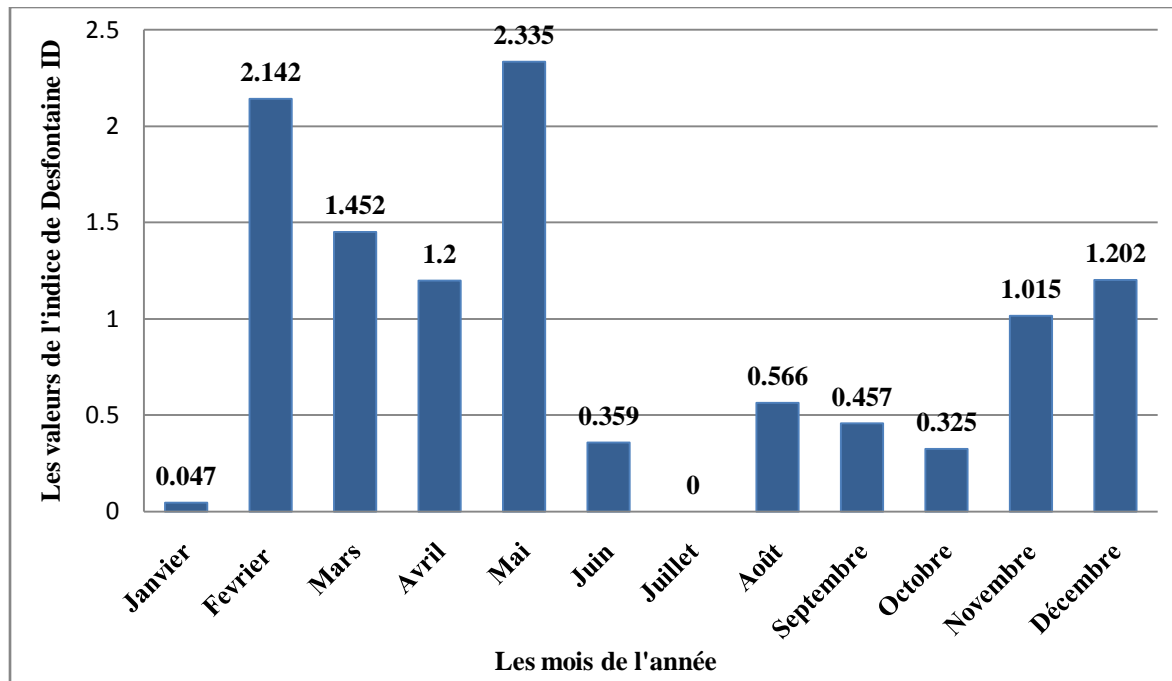


Figure10: L'indice de Desfontaines modifié (station de Sidi Mhamed Benali: 1994-2016)

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 du Mai). Le risque d'érosion est atténué pendant cette saison, durant laquelle les sols sont couverts et surtout ceux labourés.

2.3- Les températures

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 (1994-2016) auprès de la station de Sidi Mhamed Benali sont données dans le tableau 07.

Tableau 07: Températures moyennes interannuelles (°C) de la station de Sidi Mhamed Benali (1994-2016)

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
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

Source: Station de Sidi Mhamed (Benali, 2016)

Apt.*: écart entre la valeur maximale et minimale

tel que :

M : Température moyenne mensuelle des maxima.

m : Température moyenne mensuelle des minima.

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

L'alternance des cycles humectation-dessiccation favorise le processus d'altération des marnes (Kouri, 1993). 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).

2.4- 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) et Sauvage (1963), pour ne citer que ces auteurs.

2.4.1- L'indice de continentalité ou indice de Debrach

L'analyse de l'indice des écarts thermiques mensuels (M-m) met en relief des températures assez importantes pendant une période allant du 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 : $M-m < 15^{\circ}C$.

Climat littoral : $15^{\circ}C < M-m < 25^{\circ}C$.

Climat semi-continentale : $25^{\circ}C < M-m < 35^{\circ}C$.

Climat continental : $M-m > 35^{\circ}C$.

Tableau 08: l'indice de continentalité de la région d'étude

	M(°C)	m(°C)	M-m(°C)	Type de climat
T. °C	44.6	11.5	33.1	semi-continentale

L'indice de continentalité permet de situer notre zone dans un climat semi-continentale .

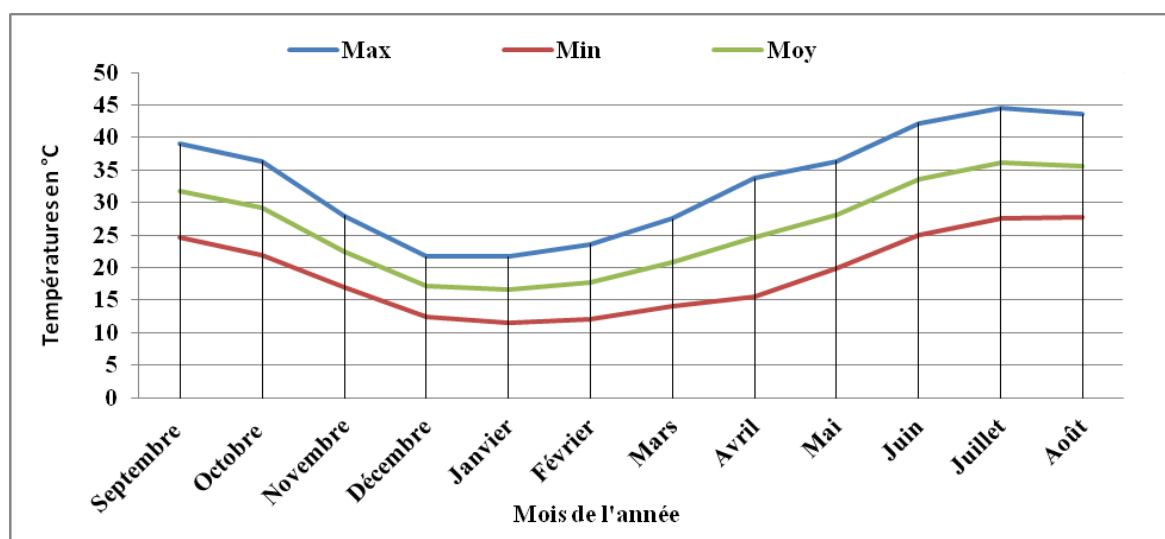


Figure 11 : Régime thermique interannuel de la station de Sidi Mhamed Benali (1994-2016)

2.4.2- Le quotient pluviothermique et les étages bioclimatiques d'Emberger

L'emploi du quotient pluviothermique (Q2) est spécifique au climat méditerranéen. Il a été utilisé avec succès en Afrique du Nord et en France méditerranéenne.

On distingue plus souvent les étages bioclimatiques : saharien, aride, semi-aride, subhumide et humide. Chaque étage comprend une stratification verticale.

Cet indice est calculé par la formule suivante par Stewart (1969) :

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

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).

Tableau 09 : L'indice bioclimatique d'Emberger, L. (d'après Stewart, 1969)

Station	P (mm)	M °K	m °K	Q2
Sidi Mhamed Benali	417,8	317,9	284,8	43,2

Pour notre cas :

En se référant au Climagramme pluviométrique d'Emberger, la station de Sidi Mhamed Benali, avec $Q2 = 43,2$ et $m = 11,5^{\circ}\text{C}$. La valeur de Q2 portée sur le climagramme en tenant compte de m, classe la station de Sidi Mhamed Benalide la zone d'étude dans l'étage bioclimatique semi-aride à hiver chaud.

2.4.3- 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 :

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

Grille d'interprétation

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

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

$30 < I < 50$ climat tempéré.

Tableau 10 : L'indice de De Martonne

Stations P (mm)	P (mm)	T (°C)	T+ 10 (°C)	I
Sidi Mhamed Benali	417,5	26,2	36,2	11,53

D'après le tableau 10, la zone est caractérisée par un climat semi-aride.

2.4.4- Le diagramme Ombrothermique de Bagnouls et Gaussen (1953)

Les monts de la Mina ont un climat de type méditerranéen semi-aride caractérisé par une sécheresse estivale prononcée. Selon Bagnouls et Gaussen (1955), 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).

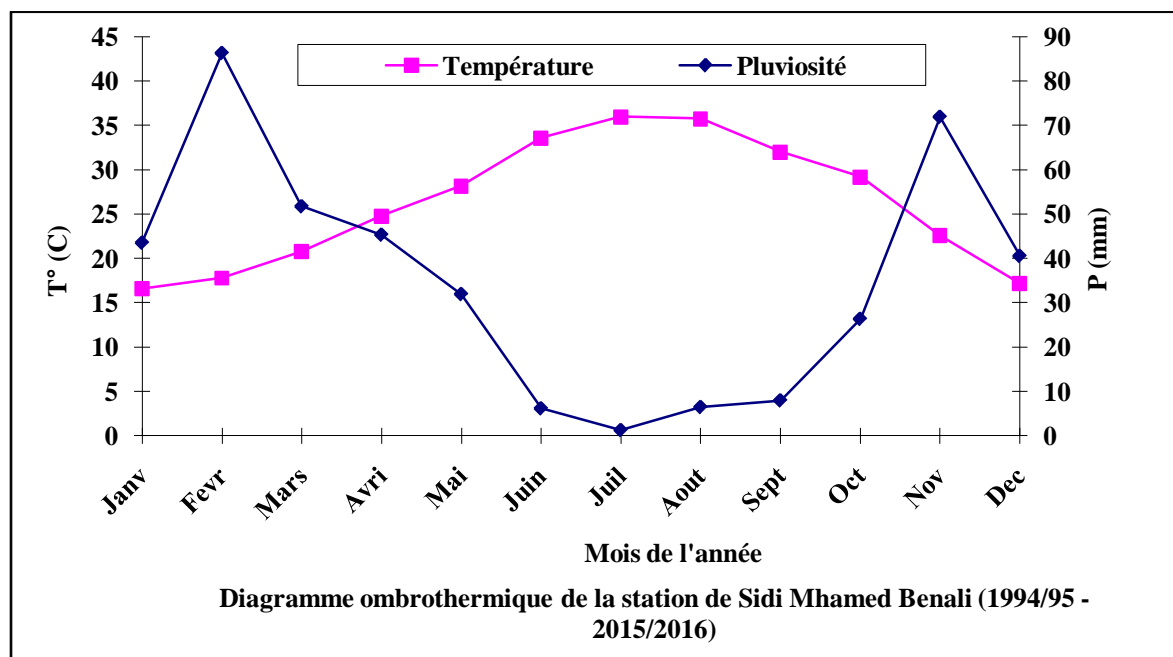


Figure 12 : Le diagramme Ombrothermique de Bagnouls et Gaussen de la station de Sidi Mhamed Benali (1994-2016)

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.

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 17 °C entre Juillet et Janvier et où les pluies sont rares et irrégulières (85 mm/an pendant le mois de Février et 2.2 mm/an durant le mois du Juillet).

Le coefficient d'abattement K_i montre que, les secteurs Est et Sud-est sont les plus arrosés que ceux situés au Nord-ouest.

L'indice de Desfontaines calculé sur 22 ans montre que le mois de Mai présente une plus forte érosivité des pluies.

1- Généralité sur l'érosion hydrique

L'érosion des sols par l'eau est un phénomène complexe qui résulte de divers processus (détachement, transport et dépôt) causé par l'action en général combinée de la pluie et du ruissellement et dont l'expression varie en fonction de la résistance du milieu (le sol, la topographie, le couvert végétal et les techniques culturales).

1.1- 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).

1.2- L'érosion hydrique: Origine et mécanismes

1.2.1-Le détachement

1.2.1.1-L'humectation par l'effet de l'impact des gouttes de pluies

Les quatre processus qui peuvent être identifiés comme responsables de la désagrégation sont:

a- L'éclatement

Il se produit lorsque des agrégats secs sont immergés dans l'eau ou rapidement réhumectés (Emerson, 1967). Les sols argileux sont moins sujets à l'éclatement (Le Bissonnais, 1990). Ce mécanisme produit des particules de taille $< 500 \mu\text{m}$. Un éclatement partiel peut intervenir lorsque les agrégats sont partiellement saturés ou que la vitesse d'humectation est lente. Dans ce cas, les particules produites sont plus grossières (Cerdan, 2001).

b- Le gonflement différentiel

Les phénomènes de gonflement-retrait qui interviennent lors des cycles d'humectation-dessiccation des sols argileux entraînent une microfissuration des agrégats (Le Bissonnais, 1990) et contribuent donc, à réduire leur diamètre moyen.

c- La dispersion physico-chimique

Cette dispersion est surtout liée à la présence de Na, alors que Ca, Mg et Fe favorisent plutôt la stabilité (Armand, 2009). La dispersion est le mécanisme de désagrégation le plus efficace, car il concerne les particules élémentaires et l'effet catalyseur sur les autres mécanismes (Bresson et Boiffin, 1990).

Le critère le plus important pour apprécier la résistance des sols à l'érosion est la stabilité structurale. Cette résistance reflète leur comportement à l'humectation lorsqu'ils sont soumis à l'impact des gouttes de pluie. La stabilité structurale est influencée par de nombreuses caractéristiques des sols, dont les plus souvent évoqués sont la texture, la teneur en matière organique, la minéralogie des argiles, les cations et les oxydes de Fe, Al et le CaCO_3 (Bronick et Lal, 2005).

L'état hydrique et le mode d'assemblage des agrégats ont aussi une influence déterminante sur les processus de désagrégation. Attou et al. (1998) ont montré les rôles respectifs de la teneur en argile et du mode d'assemblage argile-limon sur la stabilité structurale d'agrégats.

d- La désagrégation mécanique sous l'impact des gouttes de pluie

L'énergie cinétique des gouttes n'est plus absorbée mais transformée en une force de cisaillement qui provoque le détachement et l'effet splash (Al-Durrah et Bradford, 1982). Les particules détachées par les gouttes sont généralement $< 100 \mu\text{m}$ (Farres, 1987).

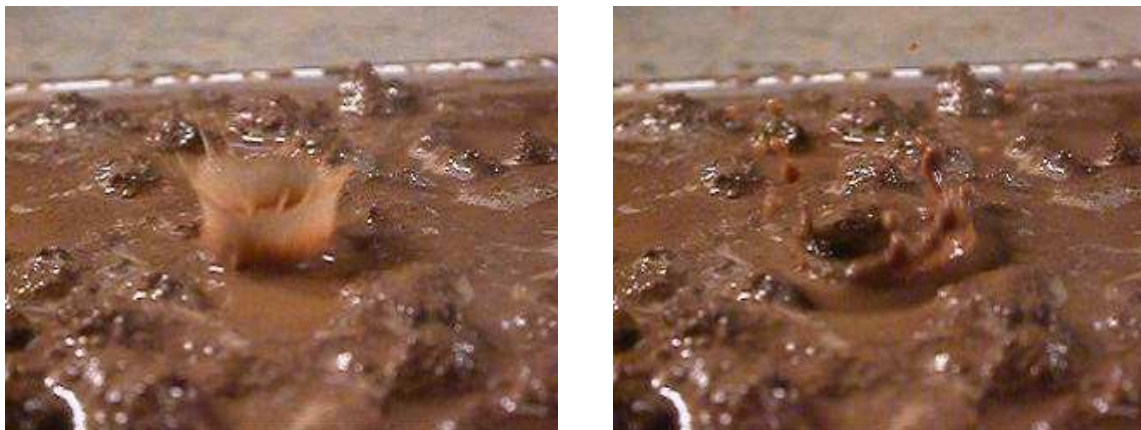


Planche 1: Rejaillissement du sol et de l'eau suite à l'impact d'une goutte d'eau «effet de splash» (Le Bissonnais et al. 2002)

1.2.1.2-Le ruissellement

L'érosion des sols se développe lorsque les eaux de pluie, ne peuvent plus s'infiltrer dans le sol, ruissellent sur la parcelle en emportant les particules de terre. Ce refus du sol d'absorber les eaux en excédent apparaît, soit lorsque l'intensité des pluies est supérieure à l'infiltrabilité de la surface du sol (ruissellement "Hortonien"), soit lorsque la pluie arrive sur une surface partiellement ou totalement saturée par une nappe (ruissellement par "saturation").

Ces deux types de ruissellement apparaissent généralement dans des milieux très différents, bien que l'on observe parfois une combinaison des deux.

Une fois le ruissellement déclenché sur la parcelle, l'érosion peut prendre différentes formes qui se combinent dans le temps et dans l'espace pouvant donner naissance à une érosion diffuse et ou une érosion linéaire.

1.2.2-Le transport des particules et la formation des croûtes de battance

A la désagrégation et au déplacement par splash s'ajoutent des processus de réorganisation structurale par illuviation, par effondrement, par compactage sous l'impact des gouttes et de la succion exercée par la couche de subsurface et par sédimentation dans les microdépressions. Ces processus conduisent à la fermeture de la surface du sol et à la réduction de son infiltrabilité en formant une croûte de battance. La conséquence majeure est la réduction de la capacité d'infiltration à la surface du sol. Les fragments et les particules de dimension $< 100 \mu\text{m}$ réduisent la taille des pores présents à la surface du sol (Loch, 1994).

La question de l'infiltration dans les sols sensibles à la battance a été abordée presque uniquement dans le cas de surfaces planes et homogènes latéralement (Aboujaoudé et al. 1991). Cependant, sur le terrain, on observe une variabilité importante en épaisseur et en conductivité hydraulique des croûtes à une échelle de quelques centimètres. Les croûtes sédimentaires se trouvent dans les dépressions et les croûtes structurales sur les reliefs. Cette variabilité spatiale influence le taux d'infiltration quand l'épaisseur de la lame d'eau à la surface augmente et qu'elle submerge des croûtes à conductivité hydraulique plus importante (Fox et al, 1998). Le rôle des croûtes sédimentaires est donc accru pour les écoulements de faibles profondeurs.

1.2.3-La sédimentation (dépôt)

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.

Dans une étude de conservation des sols en zones méditerranéennes, Roose, (1991) a montré que, les sédiments qui envasent les barrages ne proviennent que pour une faible part des versants, l'analyse géomorphologique des formes d'érosion permet de prévoir les risques d'érosion des terrains:

- érosion en nappe = 1 t/ha/an.
- érosion en rigole = 10 t/ha/an.
- érosion en ravine = 100 t/ha/an.
- glissement de terrain = 1 000 t/ha/an.
- sapement des berges = 10 000 t/ha/an.

1.3-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.

1.3.1- Le climat

En zone méditerranéenne, plus les précipitations sont faibles, plus elles sont variables. 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 % des averses importantes en hiver, sur des sols détrempées (Arabi et Roose, 1989).

1.3.2- 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).

1.3.3- 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).

1.3.4- 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).

1.3.5- Les sols

Les principales caractéristiques des sols qui permettent de déterminer le degré de sensibilité à l'érosion hydrique sont les suivantes : la profondeur, la porosité, la granulométrie, la teneur en matière organique, 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).

1.3.6- 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 (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).

1.4- Les forme de l'érosion hydrique

1.4.1- 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).

1.4.2- 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).

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

1.4.3- 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, les 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).

1.5- Conséquences de l'érosion hydrique

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

1.5.1- 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

1.5.2- 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 l'envasement des barrages.

2-Méthodes d'aménagement antiérosif

Pour lutter adéquatement contre les pertes des terres agricoles, il faut identifier et préciser les mesures à mettre en œuvre, quoique dans des proportions différentes.

L'objectif est la conception d'aménagements et d'ouvrages antiérosifs qui assureront une meilleure conservation des sols.

Le choix des différentes options techniques recommandées sont ceux qui ont été confédères utiles, nécessaires et indispensables.

Les aménagements ont pour objectifs d'empêcher le ruissellement en favorisant l'infiltration de l'eau dans les sols et leur évacuation, améliorer les propriétés physico chimiques et biologiques des sols afin d'augmenter leur productivité, assurer une couverture végétale permanente, embellir le paysage par une plus grande diversité de cultures et respecter l'environnement. Le tout, afin de fixer les populations rurales par l'augmentation de leurs revenus. Les interventions peuvent se classer en deux grands groupes. Le premier groupe vise les pratiques agricoles et le deuxième groupe englobe les aménagements antiérosifs (Benchetrit M., 1972)

Dans les zones semi-arides voire arides, à pluviométrie faible et irrégulière, les facteurs climatiques jouent un rôle considérable sur la perte en sol. Les particules de sols détachées se trouvent par la suite transportée par ruissellement. en absence d'aménagement antiérosif, ces particules finiront, en nu temps plus ou moins long par venir se déposer dans les retenues provoquant ainsi de se fait une perte des pertes des sols fertile et de leur productivité un engasement provoquant un engasement réduisant les capacités de stockage d'eau et d'irrigation des terres agricoles (Sltzerp., 1946)

2.1-Méthodes culturale antiérosifs

2.1.1- Pratiques agricoles

Les bonnes pratiques devraient avoir comme principe commun de minimiser les superficies de sols sans couvert végétal, de gérer le couvert végétal de façon évolutive et défavoriser la porosité et la structure du sol. Il est important de souligner qu'il faut adapter ces pratiques en fonction des situations locales, car une pratique intéressante pour un site précis n'est pas nécessairement adaptée pour un autre site. En effet, la profondeur du sol, le type de culture, la pluviométrie, le relief des parcelles, les techniques de production de l'exploitant, la main d'œuvre disponible et les associations entre l'agriculture et l'élevage sont autant de facteurs qui influencent le choix d'un système de lutte antiérosives et des pratiques culturales correspondantes (Dupriez et de Leener, 1990) (Planche 2).



Planche 2 : Pratiques agricoles en Algérie (I.BENHACEM, 2017)

2.1.2- Les bandes alternées

Des bandes de cultures sont disposées parallèlement aux courbes de niveau de telle façon que, lorsqu'une bande est à nu, les deux bandes adjacentes soient couvertes de végétaux. Les bandes permanentes d'absorptions sont établies sur le même principe. Elles alternent avec les bandes cultivées et sont couvertes en permanence d'une végétation herbacée ou buissonnante. L'inconvénient de ces bandes est la réduction de la surface agricole utile (Greco, J., 1978).

2.1.3- La double dérayure

On appelle conventionnellement dérayure le sillon même recreusée qui sépare un champ en deux parties, et double dérayure le redoublement d'une dérayure par une seconde situé à un mètre par exemple à la première.

Sur des parcelles à pente inférieure à 20% on établit de la double dérayure perpendiculairement à la ligne de plus grande pente, avec une légère pente régulière de 0.5- 1% dans leur longueur, ces doubles dérayures sont établies environ tous les 35 mètre en planimètre pour les pentes inférieurs à 10%, et tous les 20 mètres pour les pentes comprises entre 10-20% (Greco J., 1978).

2.2- Méthodes et techniques de protection antiérosive

Les aménagements antiérosifs, se distinguent par leurs effets durables s'étalant sur de nombreuses années. Ces aménagements sont complémentaires aux pratiques agricoles et leur but est de ralentir le ruissellement de l'eau en favorisant son infiltration dans le sol.

Les aménagements préconisés sur les terres agricoles sont d'une part, des moyens mécaniques (cordons de pierres, murettes, banquettes, terrasses, correction torrentielle, drains et exutoires) et d'autre part, biologiques (haies vives ou brises vents, revégétalisation, reboisement, plantations fruitières rustiques). Ces techniques de lutte antiérosives ont donné des résultats satisfaisants en Algérie, en raison de leur coût, de la disponibilité de la main d'œuvre et des matériaux.

2.2.1- Méthodes et techniques mécaniques

2.2.1.1- Les terrasses

Sur les montagnes, quand les pentes étaient considérées comme trop fortes pour être cultivées directement ou quand c'était la seule façon de retenir un peu de terre cultivable sur le flanc des montagnes à sol peu épais, les hommes ont établi des champs approximativement horizontaux (Planche 3), perpendiculaires à la ligne de plus grande pente, séparés par des talus de terreau des murs de pierre sèche (Greco J., 1978).



Planche 3 : Montagne aménagée en terrasse au Maroc (Anonyme, 2007)

2.2.1.2- Les banquettes

Sur une pente où l'eau ruisselle, on doit, de distance en distance, couper le versant par des obstacles longitudinaux, à peu près horizontaux, des genres de fosses ou de levées de terre placés à une distance telle les uns des autres qu'entre deux de ces ouvrages, l'eau ruisselant n'arrive pas à avoir de l'énergie suffisante pour se concentrer et entamer le processus d'érosion en ravine, la seule vraiment dangereuse (Greco J., 1978). (Planche 4).



Planche 4 : Les banquettes Trara-Tlemcen (Algérie) (B.MORSLI, 2017)

2.2.1.3- Les murettes

C'est une technique adoptée aux fortes pentes (12,5 - 25o/o) en pierre sèche sous forme linéaire ; selon les courbes de niveau ; la hauteur 50 cm et la largeur 60cm. Cette méthode est proposée pour les zones à érosion forte où les sols sont squelettiques et pauvres (Soltner, 1999 in Rerboudj, 2005) (Planche 5).



Planche 5 : Murettes en pierres sèches (I.BENHACHEM, 2017)

2.2.1.4- Les cordons de pierres

La technique des cordons de pierres n'est applicable que sur les sols établis en pentes légères · lorsque la pente est forte (>12%), il y a lieu d'utiliser des murettes · elle requiert également une main d'œuvre importante et la participation des riverains pour le transport et mise en place des cordons (Dahmani, M. 1984).

Les pierres doivent être disposées perpendiculairement au sens de la plus forte pente. La topographie impose parfois de les placer autrement pour éviter, par exemple, que l'eau ralentie sur la pente principale du terrain ne s'engouffre dans le sens d'une autre pente. La densité des cordons est proportionnelle à la pente (Planche 6).



Planche 6 : Cordons de pierres sèches (M.SABIR, 2017)

2.2.1.5- Correction torrentielle les gabions

Les seuils sont utilisés afin de réduire la vitesse du ruissellement. Ils sont recommandés pour diminuer le ravinement ainsi que pour la correction torrentielle. Ce sont des ouvrages de petites envergures construits perpendiculairement au sens d'écoulement de l'eau dans des zones de fortes dénivelées (Sheng T.C., 1993).

Ils peuvent être faits en gabions ou en pierres sèches, en grillage métallique, en pneus usés, ou en sacs de sable (Planche 7).



Planche 7 : Correction torrentielle Tlemcen (Algérie) (B.MORSLI, 2017)

2.2.1.6- Drains et exutoires

Le drainage est une technique englobant tous les travaux pour objet l'évacuation intensive dans des délais courts de l'eau de saturation du sol. Les drains (ou fossés) recueillent les eaux excédentaires des terres et les conduisent aux exutoires. Les exutoires se déversent à leur tour dans les cours d'eau (Dahmani, M. 1984).

2.2.2- Méthodes et techniques biologiques

2.2.2.1- Haies vives ou brise vent

Haies vives remplissent diverses fonctions dont celui de dissiper l'énergie cinétique du ruissellement afin de réduire l'érosion des sols. En milieu semi-aride, les haies vives protègent les cultures contre les effets de l'érosion éolienne (brise-vent) en créant des obstacles à la circulation du vent et créent un microclimat favorable au développement des cultures (Dahmani, M. 1984). (Planche 9).



Planche 8 : Haies vives (Anonyme, 2008)

2.2.2.2- Plantation d'opuntia

Ou figuier de barbarie (*opuntia ficus-indica*), est un cactus originaire des régions arides et semi-arides du Mexique. Cette espèce est très efficace pour protéger et restaurer les sols dégradés. En effet, l'opuntia est peu exigeant en éléments nutritifs et, comme il peut être planté à de fortes densités, il freine efficacement le ruissellement de surface. Par ailleurs, l'opuntia produit

des fruits qui sont prisés sur le marché, générant ainsi une source de revenus pour les agriculteurs (Planche 9).



Planche 9 : Plantation d'opuntia (I.BENHACHEM, 2017)

2.2.2.3- Revégétalisation

La revégétalisation (ou reverdissement) consiste à implanter une couverture herbacée, graminéenne, arbustive ou arborescente sur des terres dégarnies. Cette pratique est habituellement réalisée pour stabiliser les pentes et protéger les terres contre l'érosion hydrique (Planche 10). Le terme revégétalisation désignera ici exclusivement l'utilisation de plantes herbacées et graminéennes.



Planche 10 : Revégétalisation par l'atriplex (I.BENHACHEM, 2017)

2.2.2.4- Le reboisement

Le reboisement consiste à repeupler d'espèces arborées un site donné, le reboisement constitue une stratégie de lutte contre l'érosion il a pour rôle essentiel d'augmenter la couverture protectrice des terres et ainsi de réduire l'impact des gouttes de pluies sur le sol de même que le ruissellement de surface.

Les travaux de reboisement sont habituellement réalisés sur des superficies importantes, comparativement aux plantations fruitières, de haies vives et de brise-vent qui sont davantage de type linéaire (Said A., 1991).

2.2.2.5- Plantation fruitière rustique

La plantation fruitière doit être envisagée à la fois pour la production agricole et la conservation du sol. Sur le plan de la production, l'arboriculture représente une source de revenus non négligeable pour le paysan. Dans le domaine de la conservation du sol, les arbres fruitiers rustiques, grâce à leurs profondes racines, fixent le sol sur les fortes pentes.

3- Généralité sur Le système d'information géographique (SIG)

3.1- 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 (A.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 (A. Denis, 2012).

3.2- 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).

3.3- Définition de la Télédétection

Celle-ci se définit comme la science (art) d'obtenir des information sur un objet ,une surfaces 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 connaissance 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).

3.4- 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).

Introduction

L'aménagement antiérosif comporte à la fois des mesures de conservation des sols sur le plan préventif et des procédés de lutte contre l'érosion de manière curative. Les mesures de conservation des sols visent à atténuer l'ablation des horizons pédologiques afin d'assurer une production agricole rentable et pérenne alors que les procédés de lutte contre l'érosion ont pour objet essentiel la perte des terres agricoles par la diminution de la productivité.

Après la réalisation de la première phase de l'étude concernant la cartographie de l'érosion et l'élaboration des différentes classes de sensibilité avec le modèle RUSLE, au niveau de bassin versant d'oued Kramis établi par BELKALEM (2017) sous l'intitulé « Evaluation des risques d'érosion hydrique cas du bassin versant de l'Oued Kramis (Algérie) », nous entamons la seconde phase qui consiste à élaborer un plan d'aménagement, en s'appuyant sur la proposition des stratégies et politiques de lutte antiérosif qui permettent d'atténuer et mieux contrôler les processus d'érosion afin d'améliorer l'utilisation des terres, rationaliser l'exploitation des ressources en terre et améliorer les conditions de vie des populations locales dans cette région.

1-Diagnostic et identification des problèmes majeurs

Les informations fournies par l'étude concernant l'approche cartographique de risque d'érosion hydrique, ainsi qu'une prospection de terrain, permettant de dégager une bonne compréhension de la situation de dégradation environnementale au niveau de notre zone d'étude.

Nous pouvons observer la formation de griffes, rigoles et de ravines dans presque toutes les parties de notre zone d'étude. Nous avons aussi remarqué le morcellement de quelques parcelles qui n'ont pas pu résister au phénomène de l'érosion.

A cela s'ajoutent les contraintes d'ordre social, en effet les agriculteurs de la zone préfèrent le gain rapide sans trop se soucier de la durabilité, les efforts de diversification des sources de production agricoles et non agricoles sont limités. Ils se contentent des revenus procurés par la céréaliculture et l'élevage.

D'autre part, le labour souvent suivant le sens de la pente, l'absence d'assolement et de la rotation ce qui rend les parcelles agricoles moins rentables, ainsi que le surpâturage ce qui expose les sols au phénomène de l'érosion (Planche 11).

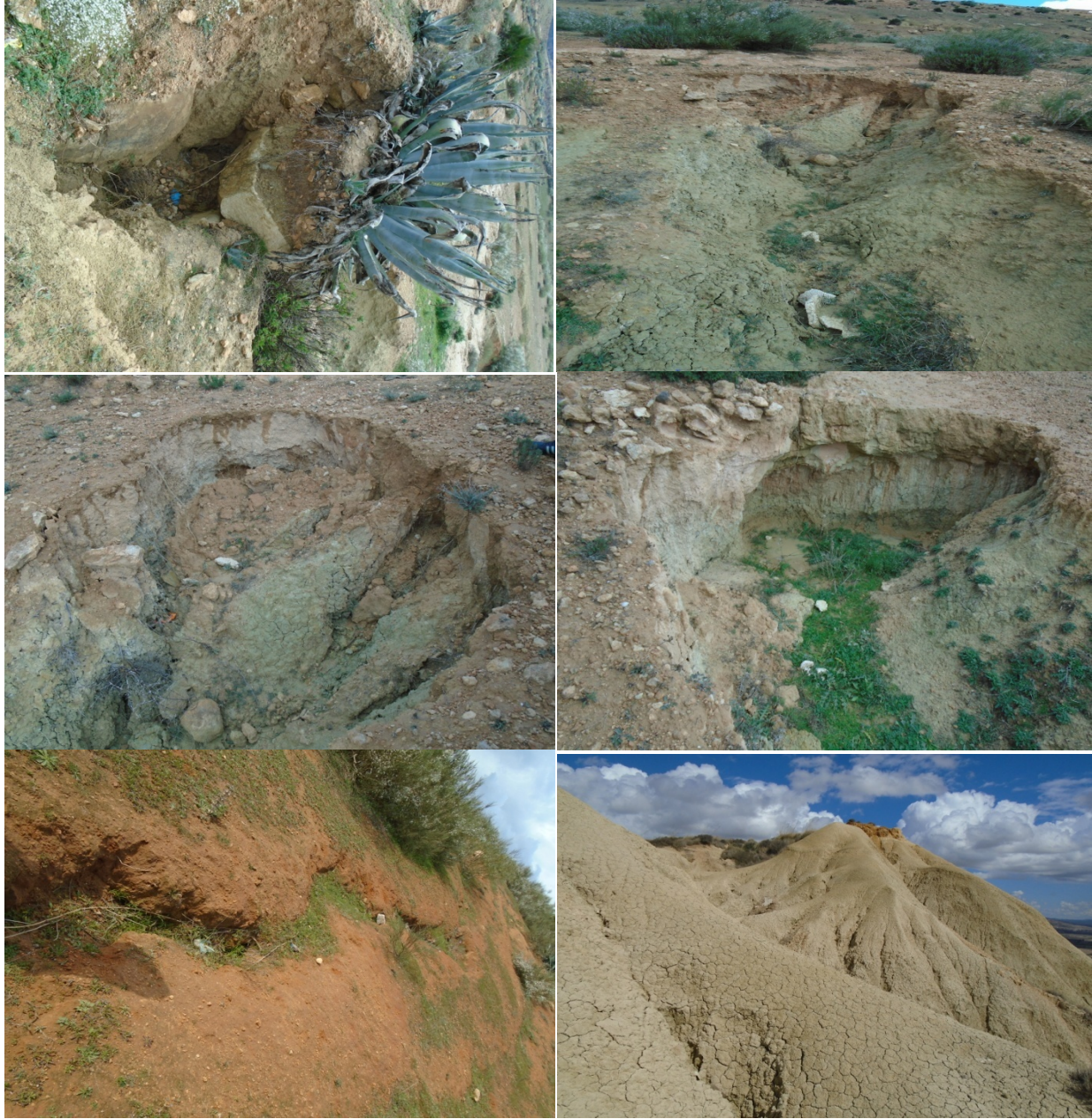


Planche 11 : Illustration de l'état de dégradation de notre zone d'étude (I.BENHACHEM, 2017)

2-Critères retenus pour le choix des zones prioritaires

- La pente
- La lithologie
- Occupation des sols
- Agressivité climatique

3- Mécanisme d'action pour l'application de la méthodologie

La carte de localisation des zones à risque résulte de la superposition de la carte du réseau hydrographique (figure 6) sur la carte du risque d'érosion hydrique (figure 13). L'ordre d'intervention prioritaire y apparaît dans les zones très sensibles correspondant aux zones de ravinement

4-Matière utilisées pour la carte d'aménagement

4.1-Carte utilisées

Afin de réaliser la carte d'aménagement nous avons utilisé les cartes suivantes :

Carte réseaux hydrographique de la zone d'étude dressée à l'échelle 1/100000, projection UTM zone 31 (Figure 6)

Cartes de risque d'érosion de la région d'étude, dressées à l'échelle 1/ 100000, projection UTM zone 31 (Figure 13)

Tableau 12 : Les classes des pertes de sol du bassin versant de l'oued Kramis

E (t/ha/an)	Surface	
	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

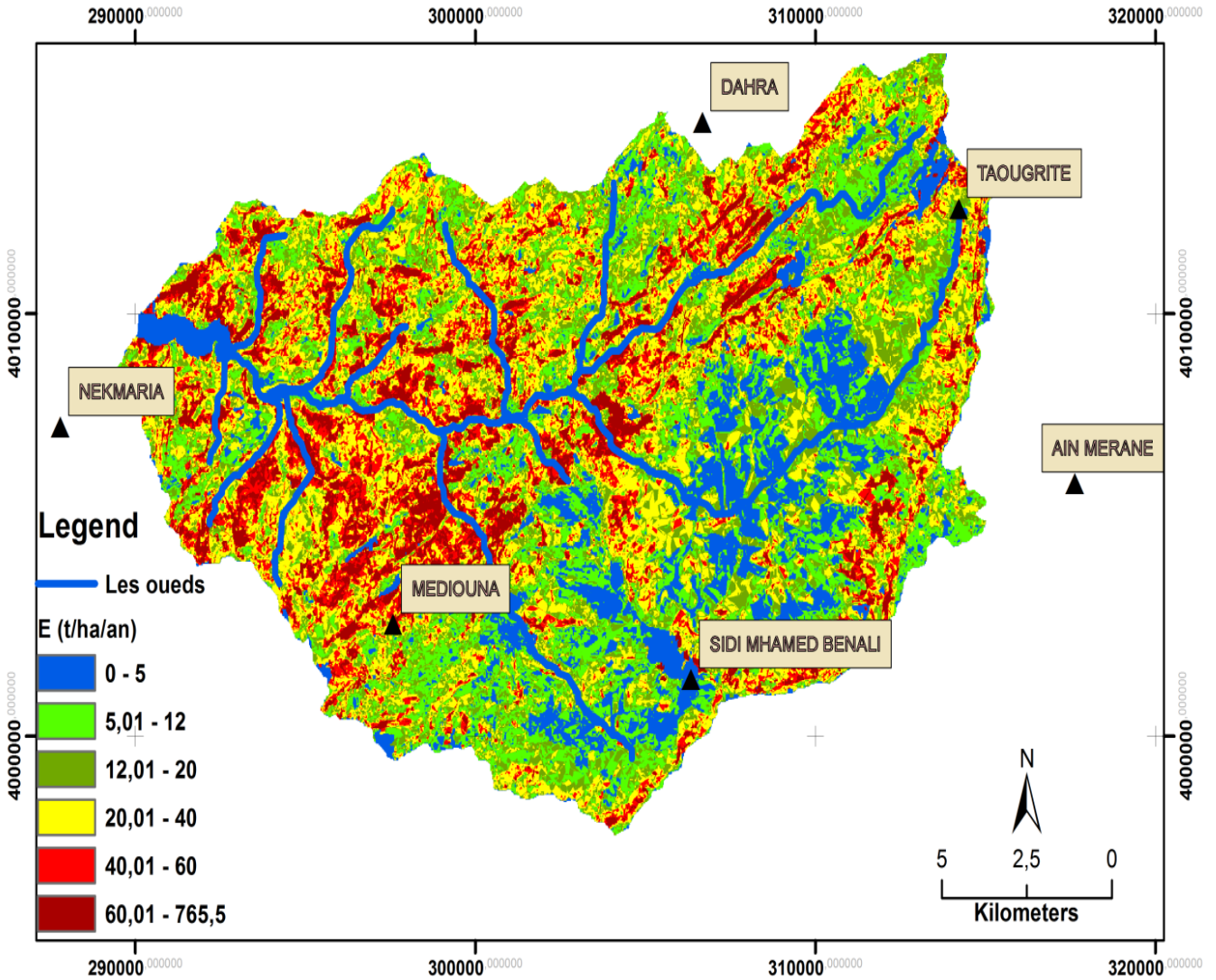


Figure 13 : La carte du risque d'érosion du bassin versant de l'oued Kramis (Réalisée par : A.BELKALEM et BENHACHEM I . 2017)

4.2-Logiciel utilisé

Arc Gis 10.2 : C est un logiciel développé par ESRI permet de visualiser, d'explorer, d'interroger et d'analyser les données spatiales. Il comporte plusieurs applications notamment Arc Map, Arc Catalogue, et Arc Toolbox. Les thèmes obtenus sous l'Arc Gis 10.2 sont:

- La carte de la classe de priorité d'intervention
- La carte d'aménagement

5. Approche méthodologique adoptée

La carte de localisation des zones prioritaires d'intervention (Figure 17) résulte de la superposition de la carte du réseau hydrographique (Figure 6) sur la carte des risque d'érosion hydrique (Figure 13) .

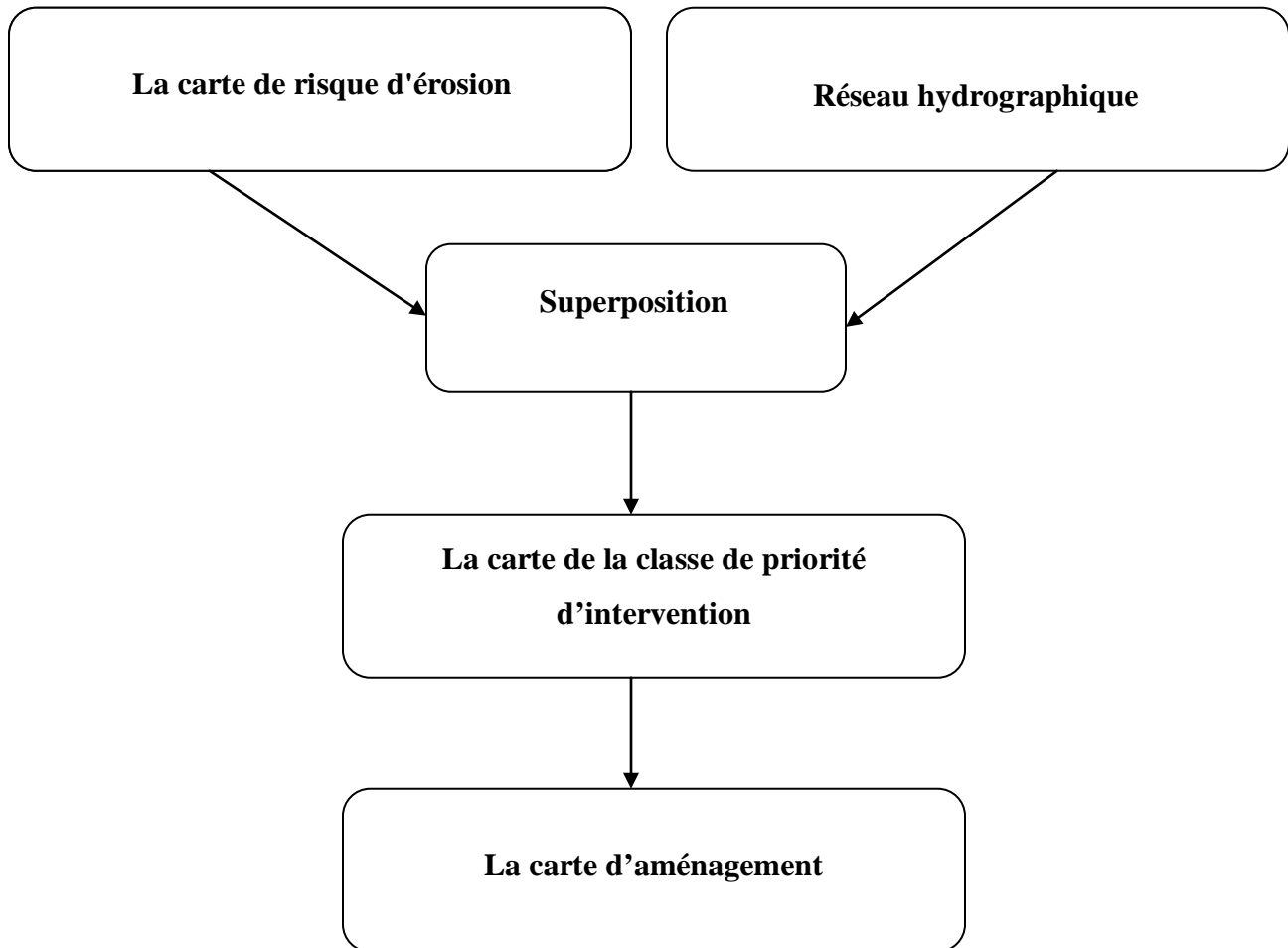


Figure 14 : Approche méthodologique de l'étude

Introduction

L'élaboration des différentes cartes et leur superposition permettent de distinguer les zones juger prioritaires qui feront l'objet de propositions d'aménagement antiérosifs.

1- Carte topographie LS

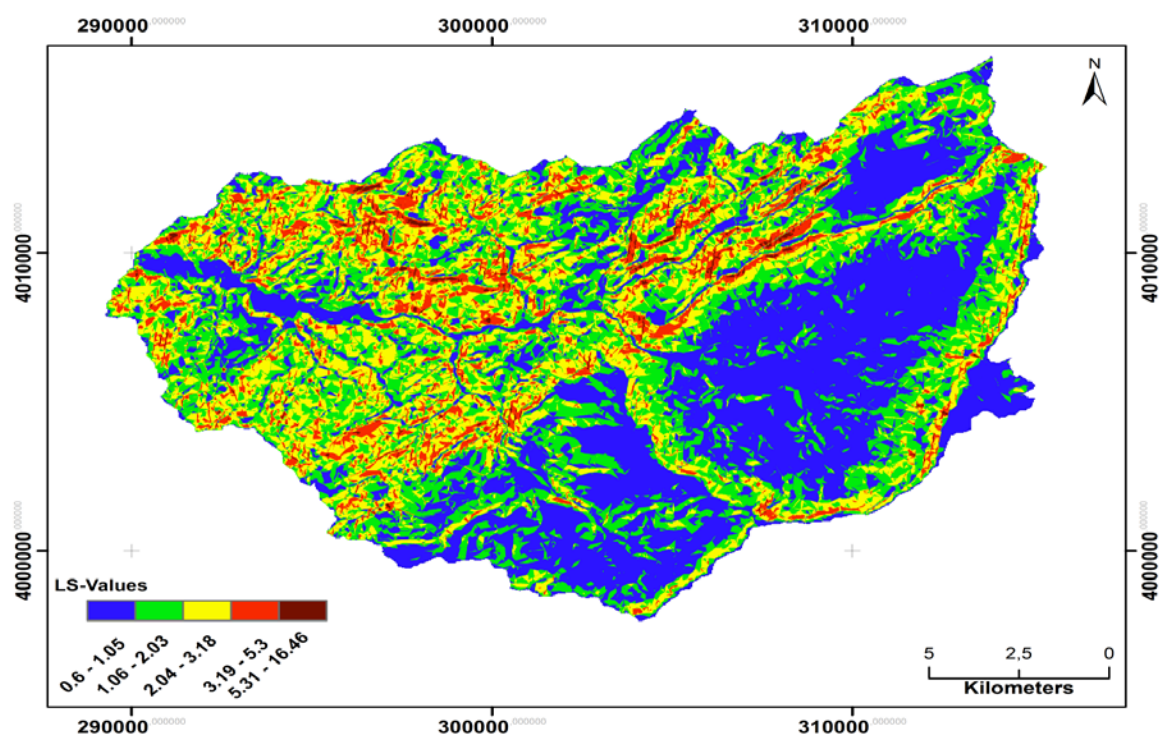


Figure 15: La topographie LS de la zone d'étude (Réalisée par : BELKALEM, A et BENHACHEM ,I ., 2017)

Tableau 13 : les classes de 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

2-Carte d'érodibilité des sols

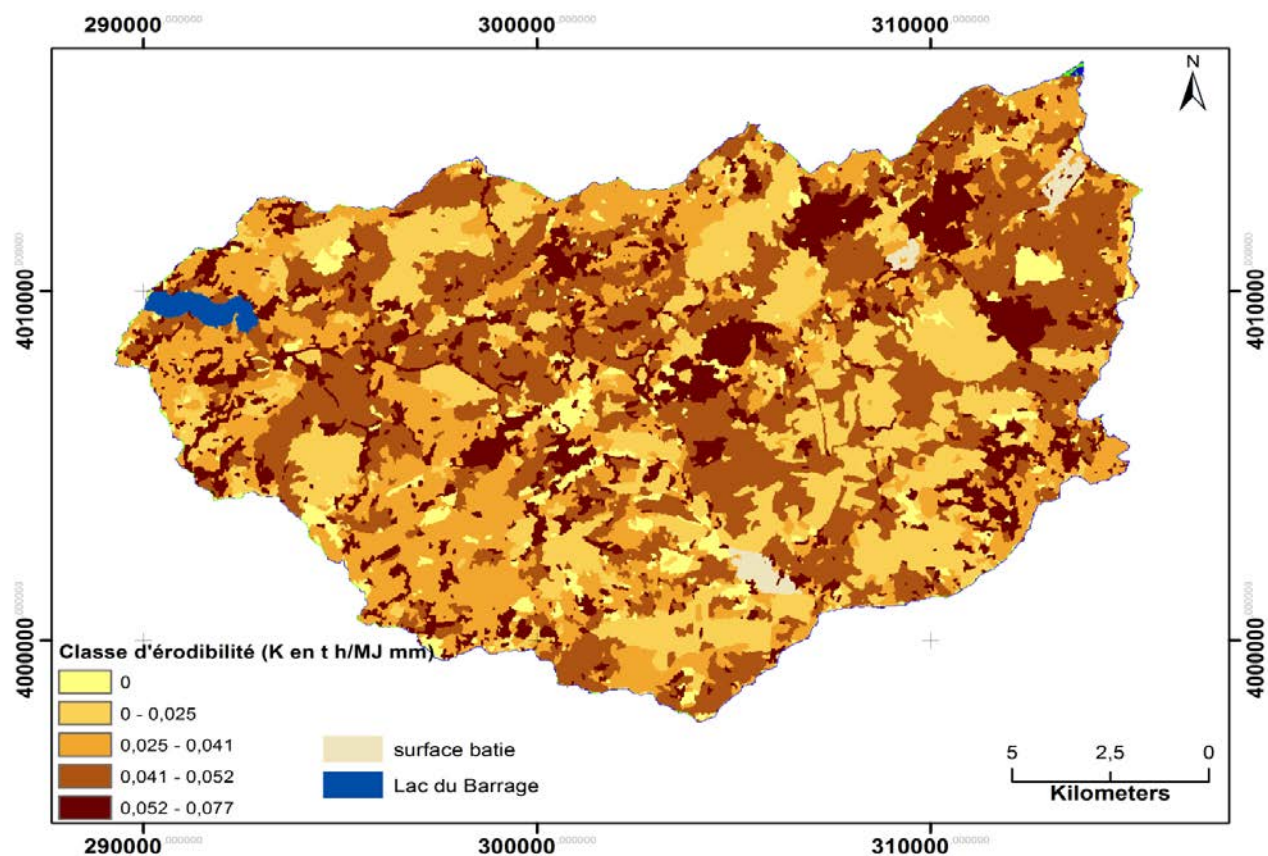


Figure 16 : Carte d'érodibilité du sol de la zone d'étude(Réalisée par : BENCHETTOUH, A et al .,2017)

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

Tableau 14 : 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

3-Détermination de l'ordre des zones prioritaire

Les trois catégories résultantes de la classification des pertes de sol au niveau de notre zone d'étude sont figurées sur le tableau 15 et illustrées dans la figure 18.

Tableau 15 : Les catégories de classification des pertes de sol et leurs surfaces correspondantes de la zone d'étude

Risque érosif	Classe de perte en sol (t/ha/an)	Superficie (Km ²)	Superficie (%)	Catégorie
Tolérable	0 – 12	98	32.2	C
Élevé	12 – 27,8	43.4	14.4	B
Extrême	+27,8	161.2	53.4	A
Total		302	100	/

D'après le tableau ci-dessus (catégorie C), nous pouvons déduire que 32.2 % de la surface des sols du bassin versant subissent une érosion tolérable. Cette surface se localise principalement dans le secteur Sud et Sud-ouest 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 a 1.05) respectivement, on remarque les basses valeurs sont enregistrées au niveau de ce secteur (figure 16 et figure 15).

En ce qui concerne la catégorie B, on constate que 14.4% 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 13, on remarque que la majeure partie de cette catégorie se localise dans le secteur Est de la zone d'étude. Ces valeurs très élevés des pertes de sol se traduisent par des valeurs relativement importantes du facteur topographique LS 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 7), 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.

4-Carte des zones prioritaire d'interventions

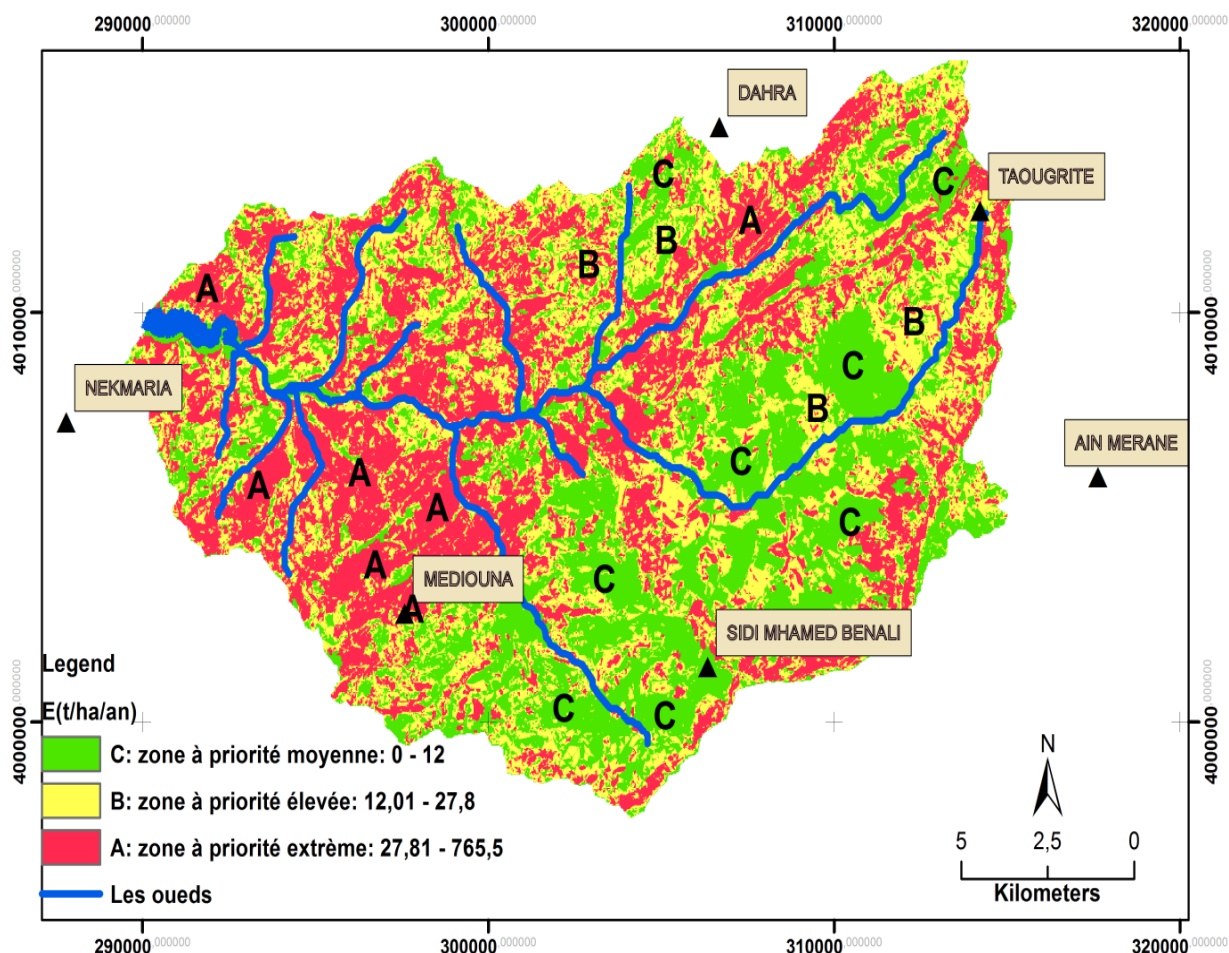


Figure 17: Carte des zones prioritaires d'intervention de notre zone d'étude (Réalisée par : BENHACHEM ,I ., 2017)

5-Plan d'aménagement

Le plan d'aménagement se définit alors comme l'exercice intellectuel par lequel on conçoit un ensemble d'actions orientées vers l'atteinte d'objectifs jugés prioritaires, afin de surmonter et de prévenir les effets néfastes de l'imprévoyance (Previl, 1993).

6-Proposition d'aménagement

Afin d'apporter les solutions adéquates aux problèmes d'érosion la zone d'étude est subdivisée en trois parties

6.1- Zone de première priorité

6.1.1- Correction torrentielle

Elle s'applique au ravinement et aux torrents. Les torrents sont des cours d'eau à régime spasmodique, à pente forte et qui travaillent dans des matériaux faciles à affouiller. Ils provoquent beaucoup de dégâts et menacent les villages. Les champs cultivés. Les voies de communication, On considère comme ravines. toute rigole ayant une profondeur minimale de 20 cm et servant fréquemment d'exutoire naturel aux eaux de ruissellement évacuées par les versants.

Les grosses ravines sont celles qui sont, longues de quelques km, profondes de plusieurs mètres (>4.50) d'après l'échelle américaine) généralement encombrées d'alluvions grossières, peu colonisées par la végétation et dont la correction nécessite des structures mécaniques.

Les petites et moyennes ravines sont, au contraire, celles qui sont longues de quelques centaines de mètres, profondes de moins de 4.50 m généralement encombrées d'alluvions fines. colonisées par la végétation ligneuse sur certains tronçons et dont la correction peut être effectuée avec du matériel biologique (KOOHAFKAN. 1987).

Bien que limitée dans l'espace, l'érosion en ravine est impétrante par les volumes de terre mis en jeu, et par les risques qu'elle fait courir à la stabilité des ouvrages situés en amont. De plus, les ravines servent fréquemment d'exutoires aux eaux évacuées par un réseau de diversion.

La conception d'une installation de lutte contre le ravinement comporte trois étapes :

L'inspection du ravin pour déceler les causes de l'érosion : Quels changements ont-ils pu se produire qui ont aggravé le problème? Le lit du ravin cache-t-il une source ?

L'estimation du débit maxima de l'eau se déversant dans le ravin. Ce débit est fonction de la topographie du bassin versant, de sa superficie. de sa végétation. du type de sol et de la capacité du bassin de retenue des eaux. Cette étape fait appel à des compétences techniques.

La mesure approximative de la longueur et de la pente du ravin. Une fois muni de ces renseignements, on peut passer au choix de l'installation de lutte contre le ravinement.

6.1.1.1- Cas des petites ravines

L'activité des petites ravines est très variable d'une région à l'autre en fonction du stade de dégradation atteint. Dans cette section, nous allons aborder les différentes de mesure pour lutter contre les petits ravins à savoir la correction par la fixation biologique et par des diguettes en pierre sèche.

6.1.1.2- Correction par fixation biologique

La fixation biologique par implantation d'une végétation arborée ou herbacée peut constituer une armure défendant les bas-fonds. Ces types d'aménagement a deux objectifs majeurs à savoir premièrement la valorisation des terrains où le ravinement commence à réduire la surface agricole utile et donc diminuer la productivité et deuxièmement la réduction du débit solide et la régularisation des écoulements. L'outil de base est un seuil placé en travers de la ravine et constitué par du matériel végétal vivant.



Planche 12 : Correction par fixation biologique de notre zone d'étude (I.BENHACHEM,2017)

6.1.1.4- Cas des grosses ravines

Souvent on a recours au traitement par génie mécanique. Ce type d'aménagement peut avoir deux objectifs:

Stabiliser le profil en long de la ravine dans les secteurs où la tendance générale est au surcreusement. Ces ouvrages retiennent surtout la partie du versant qui serait peu à peu descendue dans la ravine si l'incision s'était poursuivie. Ils arrêtent l'érosion régressive

au niveau de la ravine ainsi traitée. L'objectif n'est donc pas ici de retenir beaucoup de sédiments, mais de limiter l'approfondissement de la ravine.

Retenir les sédiments dans les sections en transit où l'incision est faible.

Lorsque l'objectif est de stabiliser le profil, il faut traiter les sections où l'incision joue réellement un rôle. Dans ce cas, il suffit souvent d'installer des ouvrages de taille modeste pour cesser cette incision. Lorsque l'objectif est de stocker des sédiments, on intervient généralement plus à l'aval dans des sections à pentes faibles, ce qui permet de retenir un volume d'alluvions plus important pour une même hauteur d'ouvrage. Cet objectif conduit à donner une hauteur plus importante aux ouvrages.

Les travaux de correction torrentielle constituent une technologie à la fois coûteuse et fragile. Le coût est lié à l'emploi de matériaux durables (gabion) et à la nécessité de dimensionner largement les ouvrages pour leur permettre de résister aux diverses contraintes et risques (chocs de gros blocs, cisaillement des berges instables, etc...).

La fragilité provient de ce que la destruction d'un ouvrage provoque souvent la ruine des ouvrages situés en amont sous l'effet de l'érosion régressive.

6.1.1.5- Les barrages en gabions

Ce sont des seuils en pierres sèches utilisés pour la correction des ravins à largeur importante. Ces pierres sont empilées dans des caisses de grillage métallique galvanisé dites gabions et implantés dans les lits de ravins. Les gabions ont les dimensions de 1m de largeur, 1 m de hauteur et 1 à 4 m de longueur sont recommandées pour les sols argileux ou argilo limoneux. Ils ont pour but de réduire la vitesse de ruissellement, retenir les sédiments et protéger les infrastructures socio-économiques en aval.



Planche 13 : Gabion en escalier de notre zone d'étude (I.BENHACHEM,2017)

6.2- Zone de deuxième priorité

6.2.1- Banquettes

Ce sont des levées de terre de faible hauteur (0.50 m) établies selon les courbes de niveau; elles sont généralement plantées par des arbres permettant de valoriser les surfaces marginales, de fixer les ouvrages et améliorer l'infiltration. Elles sont des petites terrasses horizontales, perpendiculaires à la ligne de la plus grande pente, dans le but de remodeler une parcelle. Le talus à l'amont de la banquette dépasse rarement 1 mètre de haut. La largeur de la terrasse varie entre 0.5 et 2.5 mètres. S'il s'agit d'éléments de banquette, la longueur est comprise entre 4 et 10 mètres.

Ces ouvrages sont très souvent couplés avec la plantation d'arbre fruitier (ex : l'olivier, etc.). Cette technique s'applique sur les pentes faibles à moyennes (< 30 %), et sur des sols relativement profonds. Étant peu consolidés, ces ouvrages doivent faire l'objet d'un suivi attentif. On doit veiller au maintien du bourrelet et du talus et s'occuper des arbres mis en place.

6.2.2- Terrasses

On les trouve sur les versants et dans les fonds des vallées, entre les lits des oueds et le début des fortes pentes. La construction se fait sur les sols profonds afin d'éviter d'aller dans la roche mère. Il n'est pas recommandé de les construire sur les pentes faibles (10%) du fait de leur coût prohibitif. Dans notre zone d'étude on peut utiliser les deux types de terrasses: les terrasses qui sont soutenues par des murs en pierres sèches et celles qui sont soutenues par le talus.

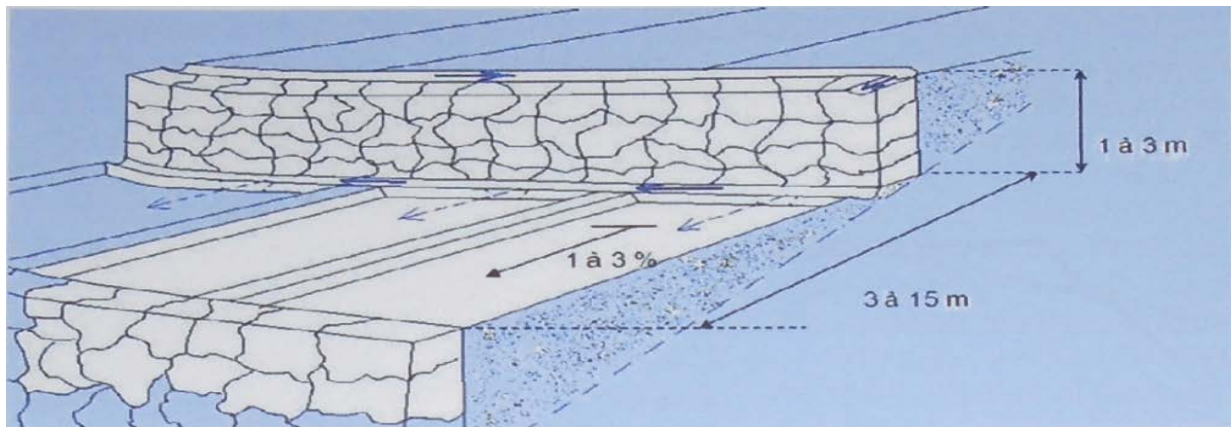


Planche 14 : schéma descriptif d'une terrasse

a- Avantages des terrasses

- Permet de valoriser les terrains en pente
- Bonne infiltration et maintien des sols fertiles (terres arables)
- Ouvrages massifs résistants aux orages si le labour est bien réalisé
- Entretien peu important et faible nécessité de matériaux de construction en cas des terrasses sur talus.

b- Inconvénients des terrasses

- Technique qui demande beaucoup d'investissement pour sa mise en place
- Perte en superficie cultivable mais possibilité d'y planter des arbres
- Doit suivre les courbes de niveau
- La pente maintenue sur les terrasses doit être très faible
- Risque d'effondrement du talus si le labour est mal réalisé
- Seules les pentes comprises entre 12 et 30% assurent une rentabilité à l'ouvrage

6.2.3- Les cordons de pierres (stone bonds)

Cette technique consiste à épierrier la parcelle et à regrouper les pierres de façon à obtenir une petite rangée (2 à 3 niveaux) alignée suivant les courbes de niveau. Ces cordons de pierres ralentissent le ruissellement, l'étalent en nappes de telle sorte qu'il s'infiltre en moins d'une heure, provoquant ainsi la sédimentation successive des sables, des agrégats puis des particules fines humifères, lesquelles vont former une croûte de sédimentation. Seul l'excédent des eaux passe au-dessus du premier niveau de pierres. Cette technique est favorisée par les versants pierreux, où la disponibilité et la proximité en matière première rendent son transport facile ; et applicables sur des pentes assez moyennes et faibles (< 30%), où les effets modérés de l'érosion garantissent la pérennité du système. Les dimensions du cordon sont :

La base: varie entre 0,4 et 0,8 m et la hauteur: 0,3 à 1 m

La longueur : les plus longs peuvent dépasser 40 m.

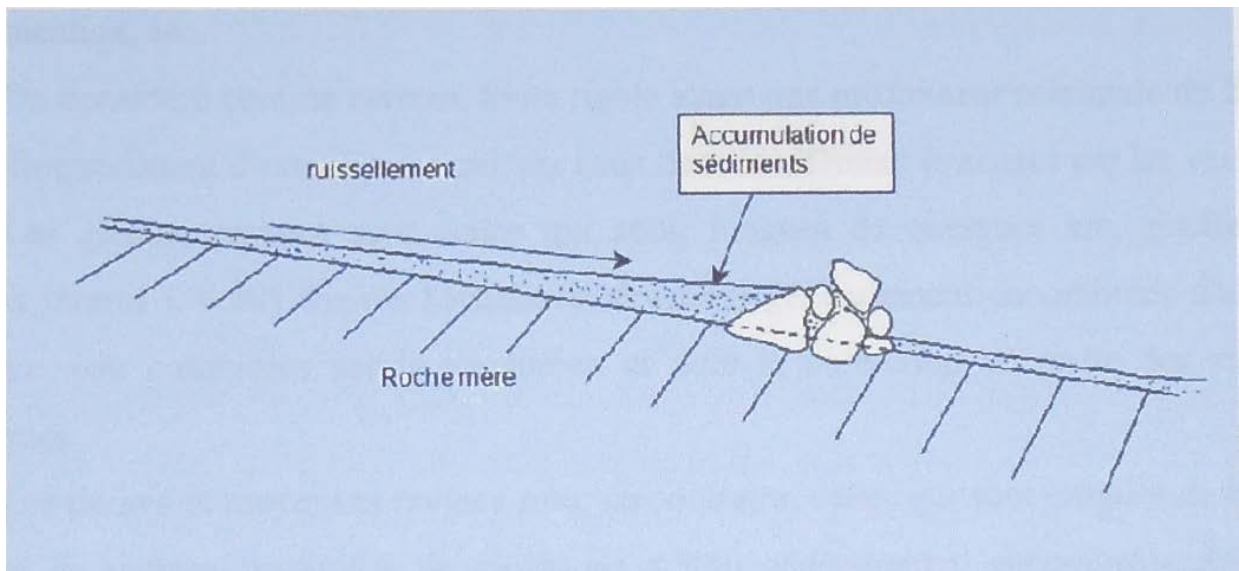


Planche 15 : évolution d'un cordon pierreux

a- Avantages

- Valorisation des produits de l'épierrage.
- Préservation de la productivité.
- Facile à mettre en place.

- Diminution du ruissellement et amélioration de l'infiltration.
- Construction souple et progressive.
- Technique ancestrale, largement répandue et intégrable par les populations locales.
- Consolidation biologique naturelle.

b- Inconvénients

- Nécessite des pierres à proximité.
- Infiltration insuffisante lorsqu'une pente est maintenue.
- Doit suivre les courbes de niveau.
- Doit couvrir la totalité de la pente.
- Besoin de beaucoup de pierres à proximité pour étendre l'aménagement.
- Construction sensible dans les zones orageuses.

6.3- Zone de troisième priorité

6.3.1- Assollement et rotation des cultures

Il faut choisir la culture à mettre en place selon la sensibilité des terres à l'érosion. Les cultures dont le développement est lent et qui ne couvrent le sol que partiellement sont à bannir sur les sols les plus érodables.

L'objectif de la rotation sera d'obtenir la meilleure couverture du sol pendant la période la plus longue possible et d'alterner des cultures conduisant souvent à une dégradation de la structure du sol avec des cultures structurantes.

L'objectif de l'assolement est d'alterner dans l'espace les cultures susceptibles d'érosion à raide de cultures assurant une bonne protection contre l'érosion afin de favoriser la ré-infiltration. De freiner les écoulements et de réduire les longueurs de pente.

L'assolement adéquat pour notre région est : blé / légumineuses.

6.3.2- Le labour conservatoire

Le labour conservatoire est de plus en plus utilisé dans des systèmes d'agriculture très divers; cette technique peut s'appliquer de différentes manières. Soit comme labour minimum, soit semis direct.

Le labour conservatoire contribue à augmenter, à la fois le contenu du sol en matière organique et son taux d'infiltration, réduisant ainsi les pertes d'eau par évaporation qui, à leur tour, augmentent le contenu en eau du sol et atténuent son érosion mécanique.

Cependant, le principal désavantage de cette pratique culturale est son exigence en fertilisants azotés, l'augmentation de ravageurs du fait de la grande quantité de résidus végétaux laissés sur place, le besoin d'un contrôle renforcé des mauvaises herbes, et le temps pour la formation des fermiers.

6.3.3- Cultures intercalaires

Les systèmes de cultures intercalaires sont des techniques qui consistent en la plantation de rangées d'arbres largement espacées les unes des autres de façon à pouvoir allouer les bandes intercalaires à des plantes cultivées, la strate herbacée permet de diminuer le ruissellement et de piéger les sédiments, les systèmes racinaires des arbres ont un rôle de premier plan dans la lutte contre l'érosion hydrique des sols. Elle assure une augmentation des rendements agricoles et la diversification de la production dans le temps et l'espace.

Afin de réaliser ces systèmes, une attention rigoureuse doit être portée envers la sélection des espèces associées pour optimiser les bénéfices

6.3.4- Les clôtures en haies vives

Ce sont des plantations serrées réalisées en courbe de niveau, composées d'arbres et d'arbustes, avec une bonne implantation et des ramifications importantes dès la base (haies fermées). Leur dimension est de 50 cm de dénivelée sur une bande de 1 mètre de largeur.

Elles jouent un rôle antiérosif important bien qu'elles soient destinées prioritairement à délimiter les parcelles, piégeage des sédiments, à protéger les vergers contre les animaux et à produire du fourrage ou des fruits. (Opuntia...)

6.3.5- Les cordons en pierres sèches

Ce sont des obstacles inter parcellaire constitués d'accumulation des pierres sèches (sans ciment ni enduit) déposées en lignes selon les courbes de niveau. Leur dimension est modeste (entre 20 à 50 cm de haut et de 40 à 80 cm de large). Progressivement ces cordons se colmatent

jusqu'à leur sommet, formant ainsi des terrasses qui favorisent le développement du couvert végétal. Les principaux critères du choix de technique d'implantation de ces ouvrages sont:

- La disponibilité des pierres
- La présence d'une semelle peu profonde, sous forme d'une croûte
- Encroûtement calcaire

D'une pente modérée et homogène du terrain (6 à 8 %).

Les effets de ce type d'aménagement sont multiples. Elles permettent à la fois de débarrasser les parcelles des pierres qui handicapent leur valorisation, de réduire la vitesse ruissellement et de piéger les sédiments transportés.

L'efficacité des cordons est excellente aussi dans les travaux d'amélioration des parcours suite à une opération de défouage. Ces cordons doivent être consolidés par des espèces végétales à usage multiple (Acaci Cactus, Oputinia etc.), selon l'aptitude du terrain. (Planche 17).



Planche 16 : seuil de en pierre sèche de notre zone d'étude (I.BENHACHEM,2017)

7- La carte d'aménagement antiérosif bassin versant oued Kramis

Une carte d'aménagement de protection a été proposée pour lutter contre toutes formes de l'érosion hydrique dans notre bassin versant.

Selon ce plan, le bassin nécessite des interventions de lutte anti-érosive de divers types sur une surface de 161.3 km², soit sur environ 53.4 % du secteur étudié. Ces interventions font l'objet d'une dizaine de techniques de protection dont certaines purement mécaniques (implantation des seuils pour contrer le ravinement, installation des retenus collinaires sur les versants et un ouvrage de capture des sédiments sur le lit de l'oued principal, végétalisation) (tableau 16). C'est le cas des zones classées dans la catégorie extrême noté A. Par ailleurs, certaines zones nécessitent une intervention de lutte antiérosive combinée, c'est le cas des zones classées dans la catégorie B. Ces aménagements consistent à mettre en place des seuils sur les versants pour contrer le ravinement et des reboisements sur les régions aptes à recevoir des espèces forestières, comme par exemple, le Pin d'Alep et l'opuntia.

En ce qui concerne, les zones classées dans la catégorie C, cette dernière nécessite des techniques antiérosives conduites par les agriculteurs de la région, comme par exemple, la plantation des haies vives, des cordons en pierres sèches et des techniques de labour suivant les courbes de niveaux.

Tableau 16: Coordonnés d'implantation des retenues collinaires et de l'ouvrage de capture de sédiments dans les oueds

Retenues et ouvrage	Coordonnées géographiques de chaque site à aménager (<i>Nord_sahara_1959 UTM_zone 31N</i>)	
Retenue 1	X : 302926.3	Y : 4008338.4
Retenue 2	X : 302895.02	Y : 4008127.4
Retenue 3	X : 298995.4	Y : 4007196.7
Retenue 4	X : 300856.7	Y : 4007557.3
Retenue 5	X : 295126.2	Y : 4008276.5
Retenue 6	X : 292965.2	Y : 4009236.5
Retenue 7	X : 294435.6	Y : 4008066.4
Retenue 8	X : 294134.9	Y : 4007915.8
Retenue 9	X : 292575.7	Y : 4008157.6
Retenue 10	X : 296235.6	Y : 4008276.4
Ouvrage de capture de sédiments	X : 294957.4	Y : 4008133.6

Carte d'aménagement

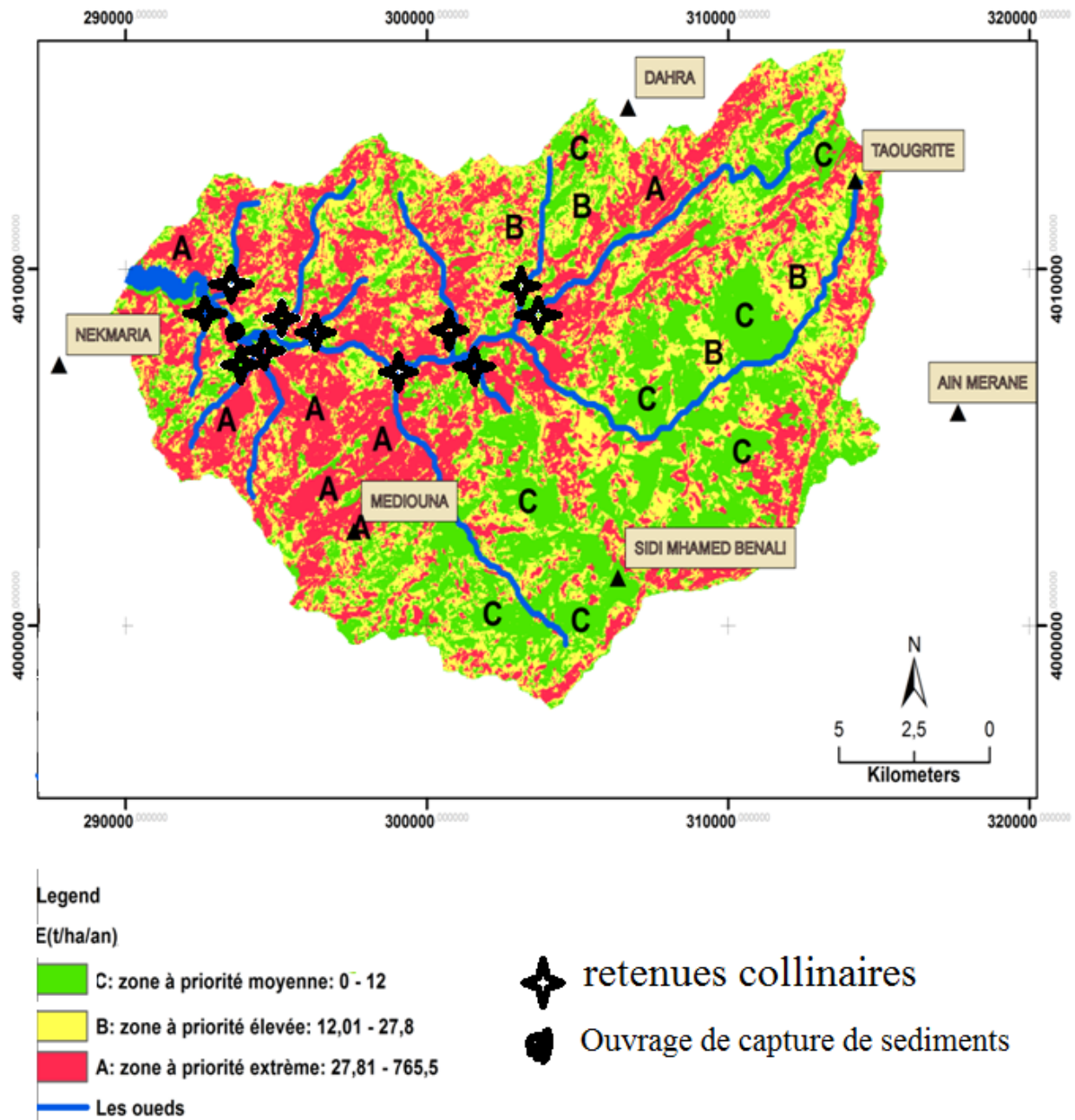


Figure18 : Carte d'aménagement (Réalisée par : BENHACHEM ,I ., 2017)

Conclusion

Le bassin versant de l'Oued Kramis d'une surface de 302 Km² subit une perte moyenne de terre par l'érosion en nappe de 27,8 t/ha/an. La projection des aménagements proposés sur la carte du risque d'érosion a permis de définir un scénario d'aménagement antiérosif qui cible trois zones de prioritaire

Ces trois zones nécessiteront des interventions pour contrer l'érosion des sols et protéger et préserver les ressources naturelles et réduire l'envasement du barrage l'Oued Kramis. Nous proposons que seules ces zones prioritaires reçoivent une attention particulière en matière de interventions antiérosives. Les interventions antiérosives suggérées dans ces zones sont La correction torrentielle et 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 cordons de pierres et de drains et d'exutoires sur les versants et de seuils dans les ravines.

En outre, L'intégration des populations locales dans les plans d'aménagement comme acteur majeur de développement rural est une nécessité en vue de protéger le patrimoine naturel non renouvelable (sols et eaux).

Références bibliographiques

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 xéothermique. 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.

Belkalem A. Benhachem I., 2017: Mémoire Evaluation des risques d'érosion hydrique cas du bassin versant de l'Oued Kramiss (Algérie)

Belkaoussa Z., 2017: Mémoire Etude spatio-temporelle de l'occupation du sol par la méthode de la classification orientée-objet au moyen de l'ENVI 5.1, cas du bassin versant de l'Oued Kramiss (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., 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/s12517-017-2875-6

Références bibliographiques

Bonn, f., rochon, g., 1992 - Précis de télédétection : principes et méthodes ; UREF/AURELF/Presses de l'université de Québec, vol. 1.

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.

Debrach, J., 1953 - Notes sur les climats du Maroc occidental. Maroc méridional. 32, Pp 12- 34.

Demmak A., 1982 - Recherche d'une relation empirique entre les apports solides et les paramètres physico-climatiques des bassins. AISH 144 : 403-414.

De Martonne, E., 1927 - Traité de géographie physique, Vol. 1. Paris. A. Colin.

Denis. A. 2012. Travaux pratiques sur les systèmes d'informations géographiques (SIG), initiation à ArcGIS, 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

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.

FAO, Organisation des Nations Unies 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 ;

Filippo OP, De Bonis SG (2006) Soil erosion prediction at the basin scale using the revised universal soil loss equation (RUSLE) in a catchment of Sicily (southern Italy). Environ Geol 50:1129–1140

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 Wiley and Sons Ltd. Chichester (UK), 229-245.

Références bibliographiques

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 Haiti. Mémoire de Master, faculté universitaire des sciences agronomiques, Liège(Belgique) ,90p ;

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

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

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.

KOOHAFKANA.P.,1987.Techniques biologiques de conservation des sols en Haiti, 36p.

Kouli M, Soupios P, Vallianatos F (2009) Soil erosion prediction using the revised universal soil loss equation (RUSLE) in a GIS framework, Chania, northwestern Crete, Greece. *J Environ Geol* 57:483– 497

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.

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.

Krynine D., Judd W., 1957 - Principles of engineering geology and geotechnics. Mcgraw Hill book company Inc., 730 p.

Références bibliographiques

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.

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.

Lumbuenamo, s.r., 2008 - note de cours de teledetection, photo interpretation et photogrammetrie. universite de kinshasas, faculte des sciences agronomique, deuxieme grade, cours inedit, 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.

Mériaux 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 bassin du Kou, association pour la promotion de l'éducation et de la formation à l'étranger, Bobo-Dioulasso

Ministry of the Water Resources (2015) <http://www.algerie360.com/> algerie/l'algerie-se-met-hors-de-danger-par-94-barrages-et-des-ressources-hydriques-considerables-apres-le-petrole-restera-l'eau/

Morgan R., 1986 - Soil erosion & conservation. In : D-A. Davidson, editor, John Wiley and Sons Inc., 253 p.

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.

Références bibliographiques

- 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* 1:33–40
- 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
- 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.
- PREVIL C ., 1993 Elaboration d'un cadre référentiel pour l'aménagement d'un espace régional en Haïti :l'arrondissement de Miragoane ».thèse de Maitrise, GREATAM , Québec,179p
- 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.
- Roose E, Sabir M, Arabi M, Morsli B, Mazour M (2012) Soixante années de recherches en coopération sur l'érosion hydrique et la lutte antiérosive au Maghreb. *Physio-Géo* 6:43–69
- Sauvage, Ch., 1963 - Etages bioclimatiques. Notice et carte au 1 /200 0000 ème. Atlas du Maroc Sect. II. P l. 6b. Comité Géographie Maroc. Rabat.
- 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 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