



**République Algérienne Démocratique et
Populaire**
**Ministère de l'Enseignement Supérieur
et de la Recherche Scientifique**
Université de Tissemsilt



Faculté des Sciences et de la Technologie
Département des Sciences de la Nature et de la Vie
Mémoire de fin d'études pour l'obtention du diplôme
de Master académique en
Filière : Ecologie et Environnement
Spécialité : Protection des Ecosystèmes

Présentée par :
ABBA MOHAMED TAKIEDDINE
YAKAR ABDELKADER

Thème

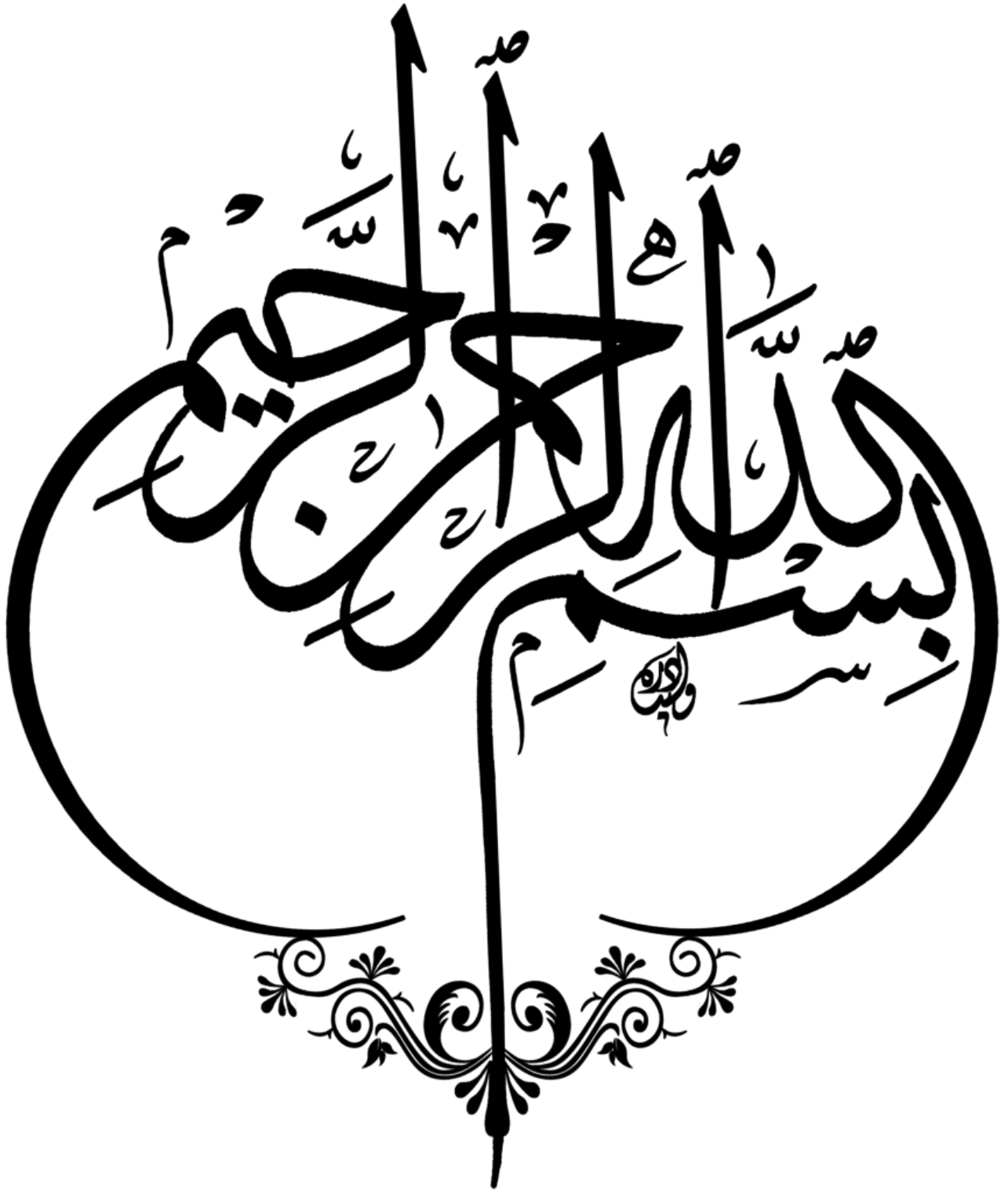
**Apport de SIG pour la cartographie du risque de dégradation des sols Cas
du canton Pré-Benchohra**

Parc National de Theniet el Had Wilaya de Tissemsilt

Devant le Jury :

Mr : Mairif Mohamed	Président	M.A.A	Univ-Tissemsilt
Mr : Fellah Sahnoun	Encadreur	M.C.B	Univ-Tissemsilt
Mr : Benzohra Nadjib	Co-encadreur	M.A.A	Univ-Tissemsilt
Mr : Taleb Mohamed Lamine	Examineur	M.A.A	Univ-Tissemsilt

Année universitaire : 2021/2022





Dédicace

*Tout d'abord, je remercie 'ALLAH' qui m'a donné la force,
Le courage et la volonté.*

Je dédie ce travail à :

A ma mère pour son amour ses sacrifiées

*A mon père pour son soutien son affection et la confiance qui
il m'a accordé et Ma chère sœur, merci pour tout*

Et je remercie l'amour de ma vie siham

A Ma grande mère qui je souhaite une bonne santé

A tous les membres de ma famille ABBA, RASSI

*Pour leurs soutiens moral et leurs conseils précieux tout au
long de mes études*

A mon binôme yakar

A mes amies dans l'agence Pub land

Sans oublier tous les professeurs.



Takieddine



Dédicace

Je dédie ce Travail

A mes chers parents, ma mère et mon père Zoubir

Pour leur patience, leur amour, leur soutien.

A mes chers frères : Zouhir et aymen. A ma princesse de mon cœur Chaima.

A mon binôme et mon frère Taki

Qui a partagé avec moi les bons et les durs moments

A tout(e)s mes ami(e)s de la Spécialité Protection des écosystèmes.



Abdelkader

Remerciements

Tout d'abord, nous remercions Dieu le tout puissant de nous donner la volonté, la patience et la santé pour terminer ce travail.

*Nous adressons toutes nos gratitudees et nous remercions au notre promoteur Mr **FELLAH SAHNOUN** pour son encadrement, et Mr **Benzohra Nadjib** son aide, ses conseils et ses remarques durant la réalisation de ce travail.*

*Nous tenons également à remercier les membres de jury, Mr **Mairif Mohamed** et Mr **TALEB MOHAMED LAMIN** pour avoir accepté d'examiner ce travail.*

*Nous remercions le directeur **et** les cadres ; les personnellles du parc national de **Theniet El Had** en particulier ; Mr. **Cherier Hamid***

*Nous remercions à Mme **AJET ABDELKADER SIHAM** notre collègue qui nous a aidés beaucoup durant notre période d'étude.*

Nous remercions nos parents pour leur contribution pour chaque travail que nous Avons effectué.

En fin, nous tenons à remercions toutes les personnes qui ont participé de près ou de loin, ont contribué à la réalisation de ce modeste travail



SOMMAIRE

DEDICACE

REMERCIEMENTS

LISTE DES FIGURES

LISTE DES TABLEAUX

LISTE DES ABREVIATIONS

INTRODUCTION GENERALE.....1

CHAPITRE I : LES PROCESSUS ET MODELISATION D'EROSION HYDRIQUE

I.1. Aperçu historique4

I.2. Le sol.....4

I.2.1. Structure du sol.....4

I.3. Définition la dégradation des sols.....5

I.3.1. Les forme de dégradation des sols.....6

I.4. Définition L'érosion.....7

I.4.1. Types d'érosion..... 7

I.4.1.1. L'érosion éolienne.....7

I.4.1.2. L'érosion hydrique.....7

I.4.1.3. Etapes de l'érosion hydrique8

I.4.1.4. Les différentes formes d'érosion hydrique.....9

I.4.2.5. Les facteurs de l'érosion.....14

I.4.2.6. Mécanisme de l'érosion hydrique.....16

I.5. L'impact De L'érosion Dans Différentes Régions.....18

I.6. L'érosion en Algérie19

I.7. Définition du MNT.....20

I.7.1. Format vecteur.....20

I.7. 2.Format Raster21

I.8. Système d'Information Géographique.....21

I.8.1.Le SIG en théorie..... 21

I.8.2.Intérêts des SIG en foresterie.....22

I.9. Introduction à QGIS..... 23

I.9.1. Les formats supportés par QGIS.....24

I.9.2.Format vectoriel.....24

I.9.3. Format raster.....25

I.10. La télédétection.....25

I.11. Intérêts de l'imagerie et des SIG pour l'étude de l'érosion.....	25
I.12. Méthodes utilisées pour étudier l'érosion.....	26
I.12.1. Méthode « Universal Soil Loss Equation »	26
I.12.2. La méthode PAP/CAR.....	26
I.12.3. Modèle d'Érosion hydrique en milieu semi-aride de Forte Énergie de Relief...27	
I.12.4. Cartographie de l'aléa « érosion hydrique »	27
I.12.5. Trois indices utilisés pour estimer l'érosion des sols.....	28

CHAPITRE II : PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE :

II. 1.Introduction	29
II. 2. Aperçu historique.....	29
II. 3. Situation géographique.....	30
II. 4. Situation administrative.....	30
II .5.étude des caractéristiques physiques et édaphiques de la zone d'étude.....	32
II .5.1.Exposition.....	32
II.5.2. Géomorphologie.....	32
II.5.3.Géologie.....	33
II .5.4. Pentés.....	33
II .5.5. L'Altitude.....	33
II.5.6.Réseau hydrographique.....	34
II.5.7. Pédologie.....	35
II.5.8. Roches.....	37
II.5.9.Le réseau routier.....	37
II. 6.étude climatiques de la zone.....	38
II.6.1. Précipitations.....	38
II.6.1.1.Précipitations annuelles dans la zone d'étude.....	38
II.6.1.2. Précipitations mensuelles	39
II.6.1.3.Précipitations saisonnières.....	40
II.6.1.4.Autre forme de Précipitation.....	41
II.6.2. Humidité.....	42
II.6.3. Ensoleillement.....	42
II.6.4. Température.....	43
II.6.5. Vent.....	44
II.7. Caractéristiques biologiques.....	44

II.7.1. La faune.....	44
II.7.2. La flore.....	44

CHAPITRE III : MATERIELS ET METHODES

III.1. Introduction.....	47
III.2 Les données utilisées.....	47
III.3 Logiciels et matériels utilisé.....	50
III.3.1.Traitement des données pluviométriques.....	50
III.3.2.QGIS.....	51
III.3.3. ENVI (Environment for Visualizing Images).....	51
III.3.4 Le GPS (Global Position Système)	51
III.4 Méthodologie.....	51
III.4.1 Les principaux modèles hydrologique.....	52
III.4.2.Choix d'un modèle pour l'étude.....	52
III.4.3. Définition d'USLE.....	53
III.4.4 Détermination des paramètres du modèle d'USEL.....	53
III.4.4.1. Facteur d'érosivité des pluies (R)	53
III.4.4.2. Facteur érodibilité des sols (K)	54
III.4.4.3.Facteur topographique (LS)	54
III.4.4.4.Facteur de couverture végétale (C)	55
III.4.4.5. Facteur des pratiques de conservation du sol (P)	56

CHPITRE IV : RESULTATS ET DISCUSSION

IV.1. Introduction.....	57
IV.2. Le modèle USLE utilisé dans l'évaluation de l'érosion hydrique.....	57
IV.3.Application de la méthode USEL.....	59
IV.3.1.Facteur K (Erodibilité des sols)	59
IV.3.2. Facteur d'aménagement anti-érosif (P)	61
IV.3.3.Facteur (C) : Occupation des sols.....	63
IV.3.4.Facteur de l'érosivité des pluies (R)	65
IV.3.5.Facteur topographique (LS)	67
IV.3.6.Facteur (A) : Perte des sols	69
IV.4.Discussion.....	74
CONCLUSION.....	75
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....	76

LISTE DES TABLEAUX :

Tableau 1 : Sources de la zone d'étude et leurs principales caractéristiques.....	35
Tableau 2 : Nombre moyen de jours d'orage enregistrés dans la station Theniet El-Had.....	41
Tableau 3 : Nombre moyen de jours de grêle dans la station de Theniet El-Had (1913-1934)....	41
Tableau 4 : Humidité absolue et relative du Parc National de Theniet El-Had.....	42
Tableau 5 : les données de l'image satellitaire Landsat -OLI 8.....	48
Tableau 6 : les données climatiques de déférent station pluviométrique.....	50
Tableau 7 : Valeur du facteur lié aux pratiques antiérosives en fonction de la pente.....	56
Tableau 8 : Variation de l'érodibilité du sol (K) en fonction du type de sol.....	60
Tableau 9 : valeur de P par classe de pente	62
Tableau 10 : La classification de la végétation est réalisée suivant les conditions de seuillage....	64
Tableau 11 : Les caractéristiques climatiques des stations utilisées pour l'estimation des valeurs de l'érosivité de la zone d'étude.....	66
Tableau 12 : classification de la pente.....	69
Tableau 13 : classe de perte de sol et son pourcentage dans le canton pré – Benchohra.....	71

LISTE DES FIGURES :

Figure 1 : Schéma et processus simplifié de l'érosion hydrique.....	8
Figure 2 : Effet des gouttes de pluies « splash ».....	9
Figure 3 : Différentes formes de l'érosion.....	10
Figure 4 : Principe de formation et d'évolution d'une ravine.....	12
Figure 5 : Différentes formes d'érosion en masse.....	14
Figure 6 : Les trois théories qui expliquent la naissance du ruissellement	17
Figure 7 : Mécanismes de l'érosion hydrique.....	18
Figure 8 : Modes de données dans QGIS.....	24
Figure 9 : Format vectorielle ; de la gauche à droite : Points, lignes et polygone.....	25
Figure 10 : Situation Géographique ET administrative du parc national de Theniet El Had.....	30
Figure 11 : carte des cantons parc national des cèdres de Theniet El Had.....	31
Figure 12 : Localisation de la zone d'étude (Canton Pré-Benchohra) dans P. N. T.H	31
Figure 13 : Carte des expositions du Parc National de Theniet El Had.....	32
Figure 14 : Carte des pentes du Parc National de Theniet El Had.....	33
Figure 15 : Carte des altitudes du parc national de Theniet El Had	34
Figure 16 : Carte du réseau hydrographique du Parc National de Theniet El Had.....	34
Figure 17 : Carte des sols du Parc National de Theniet El Had.....	37
Figure 18 : Carte du réseau routier du parc National de Theniet El Had.....	38
Figure 19 : Pluviométrie mensuelle moyenne à Theniet el Had.....	39
Figure.20 : Précipitations saisonnières à Theniet el Had (1980-2022).....	40
Figure 21 : Température moyenne maximale et minimale à Theniet el Had.....	43
Figure 22 : Température mensuelles du Parc National de Theniet El Had.....	43
Figure 23 : Carte de végétation du parc National de Theniet El Had.....	46
Figure 24 : image satellitaire (MNT) du parc.....	47
Figure 25 : image satellitaire (MNT) du canton pré-Benchohra.....	48
Figure 26 : Carte du NDVI du parc de Theniet El Had issu de l'image satellite.....	49
Figure 27 : Carte des pentes du parc de Theniet El Had.....	49
Figure 28 : Organigramme méthodologique du modèle RUSLE appliqué	59
Figure 29 : Codes de perméabilité basée sur la classification des textures (OC FSRE, 1993)... 60	
Figure 30 : Carte du facteur K. canton pré-Benchohra.....	61
Figure 31 : Carte des classes de Pente du pré-Benchohra.....	62

Figure 32 : carte de facteur p du canton pré- Benchohra.....	63
Figure 33 : Carte des valeurs du NDVI canton pré-Benchohra.....	64
Figure 34 : Carte de facteur c du canton pré-Benchohra.....	65
Figure 35 : Carte du facteur R du canton pré-Benchohra.....	67
Figure 36 : Carte des pentes du canton prés Benchohra.....	68
Figure 37 : Carte du facteur LS du canton pré-Benchohra.....	68
Figure 38 : caret de perte en sol en ($t.ha^{-1} . an^{-1}$) du canton pré-Benchohra.....	69
Figure 39 : carte de répartition des pertes des sols du canton Pré-Benchohra.....	70
Figure 40 : Classe de perte de sol et son pourcentage dans le canton Pré – Benchohra.....	71
Figure 41 : Carte de pertes en sol du bassin versant de l’oued Soubella.....	72
Figure 41 : Quelques exemples d'érosion hydrique dans le canton pré – Benchohra.....	73
Figure 42 : exemple de pente dans le canton pré – Benchohra.....	73

LISTE DES ABREVIATIONS

%: pourcent.

°C : Degré Celsius.

ASTER : Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer

CEE : La Communauté économique européenne

CTI : Commission des titres d'ingénieur

Deg : Degré

DMT : Digital Terrain Model

ENVI : Environment for Visualizing Images

ESRI : Environmental Systems Research Institute.

ETM : Equipement de Terrain Mobile

FAO : Food Agriculture Organisation.

Ff : Franc suisse

GDEM : Global Digital Elevation Model

GNU GPL : General Public License

GPS : Système de Positionnement Global.

Gt : gigatonne

Ha : Hectare.

HRV : haute résolution visible

M : températures Maximale (C°)

m : température minimale (C°)

MEH-SAFER : Modèle d'érosion hydrique en milieu semi-aride à haute énergie de relief

MIT : Institut de Technologie du Massachusetts

Mm : millimètre

MNT : Modèle Numérique de Terrain.

NDVI est un indice de végétation par différence normalisé

P : Précipitation moyenne (mm)

PNTH : Parc National de Theniet El-Had.

QGIS : Système d'Information Géographique Libre et Open Source

REP : Relative Erosion Prediction

SAR : Synthetic-aperture radar

SIG : Système d'information géographique

SPOT : Satellite pour l'observation de la Terre

T : Température

TIN : triangulaire irrégulier

USLE : Universal Soil Loss Equation

WDI : Watershed Development Index

Introduction générale

INTRODUCTION GENERAL :

La perte de sol à la surface de la terre par l'érosion hydrique et éolienne a été identifiée comme l'un des éléments majeurs de la dégradation des sols cultivables. De ce fait, elle peut affecter négativement les attributs fonctionnels des pores de transmission et de conservation de l'eau et constituer un obstacle majeur pour produire suffisamment de nourriture pour satisfaire la demande alimentaire de la population mondiale en croissance (**Pimentel, 2006**). Les caractéristiques climatiques, pédologiques et topographiques déterminent le ruissellement et les risques d'érosion des terres agricoles. Les principaux facteurs à l'origine de l'érosion des sols peuvent être divisés en trois groupes ; les facteurs d'énergie : la violence des pluies, le volume des eaux de ruissellement, la force du vent, la pente locale, l'inclinaison et la longueur du versant ; les facteurs de protection : la densité de population, la couverture végétale, la valeur d'agrément (pression à l'emploi) et de gestion des terres ; et les facteurs de résistance : l'érodibilité du sol, la capacité d'infiltration et de gestion des sols. Le degré d'érosion du sol dans une zone climatique est toujours le résultat d'une combinaison des facteurs tels que le type de sols, l'utilisation des terres et les conditions socio-économiques particulières. Il n'est pas facile d'isoler un seul facteur (Lujan, 2003). Cependant, ce sont les propriétés physiques du sol qui déterminent le processus d'érosion des sols, car la détérioration des propriétés physiques du sol se manifeste par des problèmes interdépendants de scellement de surface, de croûtes, de compaction du sol, d'un mauvais drainage, de la croissance entravée des racines, d'un ruissellement excessif et de l'érosion accélérée. La dégradation des terres est principalement causée par l'érosion hydrique. Les pertes massives de sédiments entraînent une altération continue du patrimoine agro-pédologique des bassins versants. Elle constitue une menace importante pour la productivité et les infrastructures agricoles rurales.

Au l'Algérie, l'érosion hydrique est un processus majeur de dégradation des sols. Malgré le relief relativement plat du pays, la dégradation des sols y est un problème considérable, car l'intensité des précipitations et des systèmes agricoles à faibles intrants sont répandus

L'accélération de la dégradation des sols est influencée par un certain nombre de facteurs naturels et humains qui favorisent l'initiation et la progression des processus d'érosion. Ces facteurs se répartissent en deux groupes : ceux à caractère relativement constant (infiltration, érodibilité et morphologie) et ceux à caractère variable (couvert végétal, utilisation du sol, intensité pluviométrique et pratiques agricoles) (**Roose et Lelong 1976, Vrieling 2005 , Boukheir et al. 2006**), entre autres, ont augmenté la quantité de matériaux perdus du sol et découverts dans les cours

Introduction générale

d'eau, les réservoirs de barrage, les lacs et les zones de sédimentation (**Sadiki, 2004**). Les conséquences de l'érosion sont graves. Les plus notables sont :

- ❖ Les barrages envasement et perdent leur capacité de stockage d'eau
- ❖ Pollution des bassins versants et diminution de la qualité de l'eau
- ❖ La dégradation des sols, un atout agricole important
- ❖ Les inondations extrêmes et les glissements de terrain représentent un danger pour les communautés humaines.

La cartographie de l'érosion est une technique essentielle pour comprendre la distribution et l'étendue géographique du phénomène, ainsi que sa caractérisation qualitative (**Boardman, 2006**). Il est possible d'inclure l'érosion comme facteur dans le processus d'aménagement du territoire, et plus précisément dans le processus de gestion intégrée, grâce à la cartographie de l'érosion (**Desmet et al. 1995**). La possibilité de combiner les deux approches, la cartographie de l'érosion et la gestion intégrée, dans les systèmes d'information géographique (SIG), facilite leur utilisation en tant qu'outil sophistiqué pour influencer les décisions d'aménagement du territoire (**Okoth, 2003**).

L'objectif de cette thèse est de tester la méthodologie du modèle USLE dans le canton pré-Benchohra dans le but de créer un ensemble de cartes thématiques représentant les facteurs impliqués dans le processus érosif, ainsi que d'établir une carte récapitulative d'expression des pertes en sol et vulnérabilité au risque d'érosion, et précisant la dynamique de l'érosion dans notre canton. Cela permet de tirer les conclusions les plus cohérentes sur l'envasement structurel et la perte de sol dans l'écosystème.

Ce document comprend les chapitres suivants :

Le premier chapitre est consacré à un aperçu bibliographique sur le sol et des méthodes permettant de quantifier l'érosion hydrique. Ainsi, il traite de certains logiciels pour évaluer la perte de sol.

Le deuxième chapitre expose la présentation de la zone d'étude. (Étude climatique de la zone, caractéristiques biologiques, situation géographique).

Le troisième chapitre fait le matériel utilisé et explique les méthodes de traitement.

Le quatrième chapitre concerne la cartographie et l'estimation de l'érosion hydrique dans le canton pré – Benchohra par le modèle USLE intégré dans le SIG.

Introduction générale

Enfin, la conclusion générale fait une synthèse des principaux résultats.

CHAPITRE I :

LES PROCESSUS ET

MODELISATION D'EROSION

HYDRIQUE

CHAPITRE I : LES PROCESSUS ET MODELISATION D'EROSION HYDRIQUE

I.1. Aperçu historique :

L'histoire de la dégradation mondiale des terres sous l'effet de l'activité humaine, selon (**Pierre ; 2008**), peut être découpée en sept phases.

Les humains survivaient principalement grâce à la cueillette et à la chasse avant les 5000 dernières années de notre ère. La détérioration naturelle était l'étendue de la dégradation des terres. La deuxième phase (-5000 à -2000) a commencé avec l'introduction de l'agriculture. Il est possible que la dégénérescence soit inévitable. La densité de population était faible et la superficie des terres cultivables était limitée. Entre les années - 2000 et la fin de l'Empire romain (en Europe), vers l'an 400, il y a une troisième période. Sous les civilisations de l'Égypte, de l'Assyrie, de la Grèce et de Rome, la dégradation des terres due à l'agriculture a commencé à s'exprimer dans tout le bassin méditerranéen. La déforestation a commencé en Ethiopie il y a environ 3000 ans et s'est depuis étendue à l'Égypte et à l'Afrique du Nord. Cependant, l'érosion a été contrôlée via la construction de terrasses par les populations romaines et yéménites allant de -800 à +300. Vers l'an 3200, des barrages ont été créés en Jordanie. La terre a été intensivement exploitée en Extrême-Orient (Chine et Japon), en Inde et au Mexique entre 2000 et 2010. La construction de la Grande Muraille de Chine a commencé en l'an 200.

I.2. Le sol :

Le terme "sol" a une variété de définitions en fonction de son contexte. La terre sert de fondation pour la construction de routes et de structures pour un ingénieur civil. Le sol est une source de ruissellement résidentiel et municipal pour un ingénieur en irrigation. Le sol est un manteau vivant et végétalisé qui facilite le cycle de l'eau pour un hydrologue ou un hydrogéologue. Le sol est un habitat et une composante de l'écosystème qui crée et est la source d'un large éventail de processus et d'interactions chimiques, biochimiques et biologiques, selon les écologistes (**Alzouma, 2005**). De plus, plutôt que de voir le sol comme une composante d'un écosystème plus large dont la base est les plantes, il y a un mouvement croissant pour le voir comme un écosystème distinct (**Mouffok, 2003**).

I.2.1. Structure du sol :

Il y a deux parties au sol : une fraction minérale et une fraction organique.

I.2.1.a. Section minérale :

La fraction minérale contient l'ensemble des produits de dégradation physique et chimique de la roche mère. Leur diamètre décroissant (granulométrie) permet de les classer :

- Les graviers et cailloux (> 2 mm)
- Les sables (20 µm-0,2 mm)
- Les limons (2 µm-20 µm)
- L'argile granulométrique (< 2 µm)

Tous ces composants se combinent pour former la "squelette" du sol. La fraction minérale comprend deux parties : une fraction grossière et une fraction fine :

Les graviers et cailloux, les sables et les limons sont des particules d'un diamètre supérieur à deux micromètres dans la fraction brute. Cette proportion n'a pas d'avantage direct pour les plantes, mais elle est nécessaire pour conserver l'eau dans le sol comme réserve (macroporosité). C'est un squelette solaire qui, lorsque la température augmente, se transforme en une fraction fine ;

Les particules ayant un diamètre inférieur à 2 µm sont classées comme fraction fine. Biologiquement et chimiquement, cette proportion est active. Les colloïdes minéraux constituent la substance (Ghelid, 1996).

I.2.1.b. Section organique :

Le sol et sa matière organique servent de carrefour multifonctionnel entre l'atmosphère, la lithosphère, l'hydrosphère et la biosphère, selon (Gobat et al.2010) : ils contribuent significativement à la productivité agricole mondiale (Lal et al. 2004) ; Ils fournissent un habitat et un substrat essentiel pour une gamme variée d'organismes vivants ; régissent les flux des cycles biogéochimiques primaires (cycle de l'eau, cycle du carbone, azote, phosphore et autres éléments). Ils contribuent à la régulation du climat en émettant des gaz à effet de serre et en séquestrant du carbone, stockant 3,3 fois plus de carbone dans le premier mètre de sol (2500 Gt) que l'atmosphère (760 Gt) ou 4,5 fois plus que la végétation terrestre (560 Gt) (Lal et al. 2004) ; ils protègent les ressources en eau en filtrant ou en retenant les polluants (Lal et al., 2004) ; et ils jouent un rôle important dans la résilience des écosystèmes.

I.3. Définition la dégradation des sols :

Les sols se dégradent lorsque leurs qualités sont modifiées par des processus naturels ou d'origine humaine, et ils ne sont plus capables de remplir leurs fonctions dans la biosphère

continentale. La dégradation des sols est un problème grave qui touche environ 65 % des terres nouvellement aménagées et met régulièrement en péril la production agricole et la qualité de l'environnement dans le monde entier. La dégradation chimique, physique et biologique sont les trois types de dégradation qui peuvent être facilement distingués. Les processus de dégradation n'affectent pas seulement le sol (substrat géologique), mais aussi la zone non saturée et les aquifères **(Berkovitz et al. 2008 ; Yaron et al. 2008, 2010)**.

I.3.1. Les forme de dégradation des sols :

On parle de dégradation des sols lorsque leurs propriétés par plusieurs forme de altération que ça soit physique biologique ou chimique.

I.3.1.a. Dégradation chimique :

La productivité du sol est réduite en raison d'une variété de processus pédologiques et chimiques. Dans le contexte de l'atteinte d'une utilisation agricole à long terme des sols, la diminution des réserves d'éléments nutritifs des plantes est particulièrement problématique. Cela indique que la teneur en éléments nutritifs du sol chutera rapidement en raison de la minéralisation. En raison de la salinisation, la quantité d'eau accessible aux plantes sera réduite. Cela signifie qu'à la suite de la minéralisation, la teneur en éléments nutritifs du sol diminuera rapidement. La quantité d'eau disponible pour les plantes sera réduite en raison de la salinisation. Il peut également provoquer des effets toxiques sur les cultures, ainsi qu'une augmentation de l'alcalinité du sol et, dans certains cas, une diminution de la capacité d'infiltration. En raison d'un manque de matière organique, la capacité du sol à retenir les nutriments s'est détériorée et le lessivage a considérablement augmenté. En raison de la faible valeur des capacités potentielles d'échange de cations, elles sont bien plus préjudiciables qu'un manque de celles-ci ou de nutrition **(Greco, 1966)**.

I.3.1.b. Dégradation biologique :

Lorsque le sol ne peut plus fonctionner comme habitat biologique, l'installation, la croissance et le développement des êtres vivants sont perturbés, voire complètement réprimés. On peut alors parler d'une altération de sa qualité biologique, qui entraîne une détérioration biologique lorsqu'elle est réduite ou entièrement perdue **(Chaussod, 1996)**. On peut supposer que ce dernier est le résultat de la dégradation chimique du sol (seule ou associée à une dégradation physique).

I.3.1.c. Dégradation physique :

Lorsque les éléments organiques et minéraux du sol sont exposés à l'action d'un agent physique qui exerce une contrainte, les assemblages de ces constituants résistent plus ou moins. Les assemblages peuvent résister si les liants qui les maintiennent sont suffisamment solides. Si la cohésion est insuffisante, par exemple à cause d'un manque de matière organique ou d'un excès de sel, ils sont plus ou moins détruits, entraînant une dégradation structurale à la source de la dégradation physique. (Calvet et al., 2005).

I.4. Définition de l'érosion :

L'érosion peut être définie comme un phénomène de déplacement des matériaux à la surface du sol sous l'action de l'eau, du vent, de l'homme ou simplement de la gravité (Girard et al., 2005). C'est un phénomène naturel caractérisé par des processus de détachement des particules du sol par les précipitations et le ruissellement, leur transport par les eaux superficielles qui ruissellent et leur dépôt le long du trajet suivi par les eaux superficielles sur les versants et dans les cours d'eau (Foster et Meyer, 1972).

I.4.1. Types d'érosion :

Il existe deux types d'érosion (éolienne et hydrique).

I.4.1.1 L'érosion éolienne :

Le vent exerce sur les particules solides au repos une pression sur la surface exposée au flux d'air, appliquée au-dessus du centre de gravité, auquel s'oppose un frottement centré sur la base des particules. Ces deux forces constituent un couple tendant à faire basculer et rouler les particules lourdes (0,5 à 2 mm), de plus, la différence de vitesse entre la base et le sommet des particules provoque leur aspiration vers le haut. Les particules les plus légères s'élèvent à la verticale jusqu'à ce que le gradient de vitesse ne les porte plus. Elles retombent alors, poussées par le vent, suivant une trajectoire subhorizontale. En retombant, ces grains de sable transmettent leur énergie à d'autres grains de sable (comme dans un jeu de boules) ou se dégradent les agrégats limono-argileux en dégageant de la poussière (Heusch, 1988).

I.4.1.2. L'érosion hydrique :

On peut définir l'érosion par le détachement et le transport de particules terreuses plus ou moins fines à la surface du sol sous l'effet de la pluie et lorsque le sol n'est plus capable d'infiltrer l'eau. L'intensité cinétique des gouttes qui atteignent le sol et la résistance qu'il peut y opposer grâce à son degré de stabilité vont définir la quantité de particules solides qui vont être détachées et donc déplacées (**LE Bissonais, 1995 in Ludwig, 2000**). D'une manière générale cinq facteurs sont à prendre en compte lorsque l'on parle d'érosion des sols (**Sudres, 2014**) :

- ❖ l'occupation du sol, le couvert végétal présent sur la surface,
- ❖ la pluie : l'intensité, le volume total, sa répartition au cours de l'année,
- ❖ la topographie : la longueur et l'inclinaison de la pente, les zones de ruissellement,
- ❖ la texture du sol : sa composition, le taux de matière organique, sa stabilité,
- ❖ les pratiques culturales lorsqu'il s'agit de parcelles agricoles d'érosion.

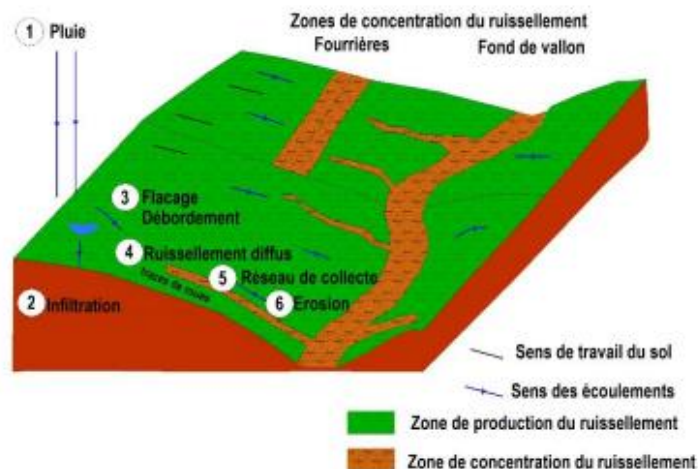


Figure 1 : Schéma et processus simplifié de l'érosion hydrique (**Bussièrre, 1996**)

I.4.1.3. Etapes de l'érosion hydrique :

Le processus d'érosion hydrique se divise en deux étapes (**FAO, 1976**) :

Une séparation des particules de sol, semblable à un orage ou à un ruissellement d'attaque. L'effet des gouttes de pluie sur le sol (effet splash). L'énergie de la pluie intervient dans le phénomène de décollement pour détruire les éléments structuraux. Le démontage des éléments se produit à un rythme beaucoup plus rapide que :

- ✓ Au début des pluies, le sol est plus humide (effet des pluies précédentes).
- ✓ La stabilité de la structure terrestre s'est détériorée.
- ✓ La structure réelle du sol attaquant est plus importante (du fait de l'intervention de cailloux en surface).



Figure 2 : Effet des gouttes de pluies « splash » (Leguédois, 2003)

Transport par ruissellement de ces composants (Un entraînement des particules détachées vers le bas des pentes par l'eau qui descend). Les éléments plus fins en suspension seront entraînés par ruissellement dans l'acheminement des composants. Lorsque le taux d'apport d'eau dépasse le taux d'infiltration d'eau dans le sol, un ruissellement se produit. Le ruissellement se produit lorsque l'intensité des précipitations dépasse la capacité d'infiltration de la surface du sol, selon Horton, 1940 dans (Roose, 1996). Le ruissellement, comme les précipitations, a des effets de dissociation et de transport au sol.

La quantité de saleté déplacée doit théoriquement être fonction :

- ✓ Du moment où le ruissellement apparaît.
- ✓ La quantité d'eau qui s'écoule (l'augmentation de la charge hydraulique).
- ✓ La taille des grains du sol.

I.4.1.4. Les différentes formes d'érosion hydrique :

Selon le degré de concentration du ruissellement de surface, l'érosion hydrique est séparée en deux types : l'érosion en nappe et l'érosion linéaire.

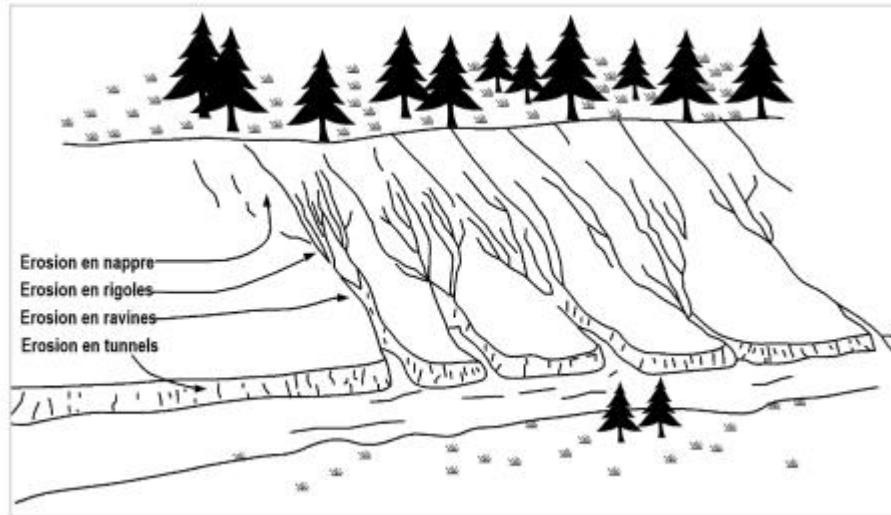


Figure 3 : Différentes formes de l'érosion (Remmas, 2014)

I.4.1.4.a. Erosion hydrique en nappe (SHEET - EROSION) :

Du fait que l'énergie des gouttes de pluie s'applique sur toute la surface du sol, et que les éléments détachés sont transportés par ruissellement dans la nappe, on parle d'érosion hydrique en nappe ou aréolaire (érosion en nappe). C'est la première étape de la détérioration du sol induite par l'érosion. (Roose, 1994). Elle est causée par l'enlèvement d'une fine couche de terre de manière plus ou moins régulière d'un terrain lisse à faible pente non protégé par des précipitations rapides. (FAO, 1983).

I.4.1.4.b. Erosion hydrique linéaire :

Il existe différents types étonnants d'érosion linéaire associée au ruissellement :

a/ L'érosion en griffes (RILL EROSION) :

Les griffes apparaissent sous forme de lignes parallèles le long des collines du terrain. Leurs lignes sont étroites, mesurant 10 cm de large et moins de 10 cm de profondeur ; la longueur est principalement déterminée par le mouvement des eaux et la longueur des pentes.

Dans les parcelles travaillées, les griffes se forment au niveau des jachères nues. Les procédures de labour et de culture les éliminent. (Roose, 1994).

b/ L'érosion en rigoles :

C'est un sillon d'une largeur de 20 à 30 cm et d'une profondeur de même. La longueur, en revanche, est très variée et est liée à la longueur des pistes. Les ravines émergent principalement

après de fortes averses (par exemple, des pluies torrentielles), qui s'effacent facilement lorsque le paysan laboure en profondeur, mais certaines ravines échappent aux efforts des villageois sur les terres abandonnées, laissant penser que certaines ravines peuvent évoluer en ravines voire en ravins.

Lorsque la capacité d'arrachage de la pluie augmente (V entre 30 et 60 cm/s), le sol s'érode de manière inégale et de minuscules ravins apparaissent, entaillant plusieurs centimètres dans le sol. L'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture **FAO** a publié un rapport en **1976**.

c/ L'érosion en ravines (GULLY EROSION) :

C'est une incision linéaire qui suit le sens de la pente et a une profondeur minimale de 1 mètre. Il peut atteindre une hauteur de 2 à 3 mètres. Selon certains récits, le ravin peut être qualifié de ravin. Du point de vue de cette compréhension morphologique, elle n'est significative que dans la mesure où elle peut nous aider à comprendre le rythme global de l'érosion linéaire. La largeur, en revanche, peut-être d'une dizaine de mètres, tandis que la longueur est extrêmement variable. (Voir Figure 4)

Les ravins apparaissent lorsque la pluie tombe à un rythme plus rapide ($V > 60$ cm/s). Beaucoup d'entre eux commencent par de simples voies de passage de troupeaux, des routes d'exploitation et des sentiers creusés sur des terrains en pente (**FAO, 1976**).

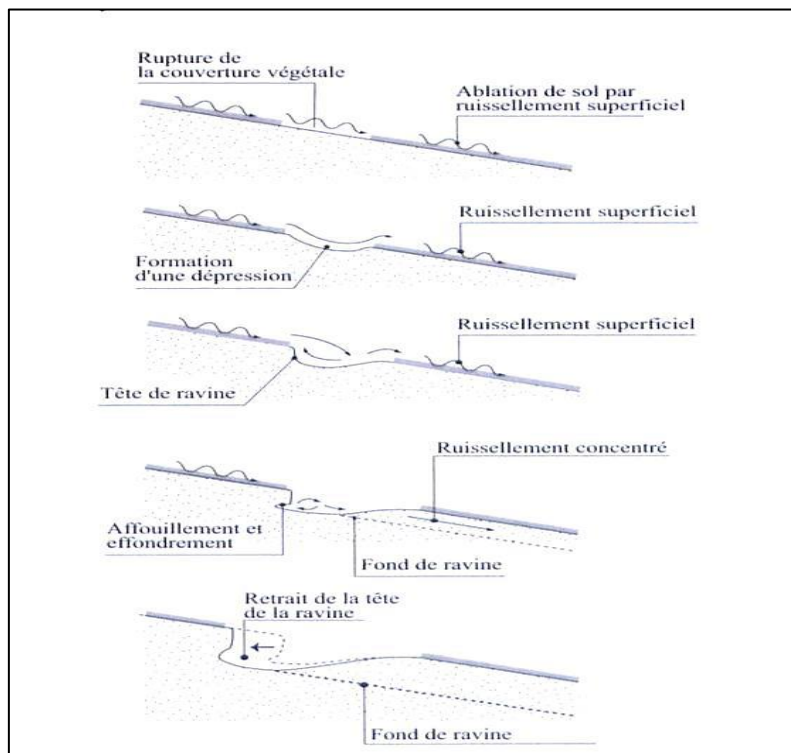


Figure 4 : Principe de formation et d'évolution d'une ravine (**d'après Morgan, 1986**)**d/ Ravinement généralisé (BADLANDS) :**

Il se compose d'une série de ravins et de ravins juxtaposés reliés par de fortes lignes de crête. Il s'agit d'une version plus hiérarchique et structurée du canal.

Le profil longitudinal est redressé en général. L'inclinaison est élevée et constante. Le coteau est en grande partie dépourvu de végétation. Les badlands sont la dernière étape de l'érosion des ravines.

(**Heusch 1982**) a estimé que l'affouillement des berges représente 70 % du mouvement des sédiments à la taille du ravin. Ce type d'érosion a le potentiel de transformer l'environnement en "badlands".

I.4.1.4.c. Suffosion (tunneling)

C'est une retraite qui prend généralement la forme de crevasses plus larges qui se transforment en ravins, avec de petits ponts naturels intercalés à la surface.

Il crée des « niches de rabattement » en tête de ces ravins dans cet exemple. On accède au ravin par une série de trous alignés.

Ces trous sont le plus souvent observés sur des pentes moyennes dans des formations marneuses à végétation clairsemée ou dans des zones cultivées. Ce sont des trous d'un diamètre de 0,5 à 1 m et d'une profondeur de 0,5 à 1 m. (**Belgharbi et Sadat, 1994**).

I.4.1.4.d. L'érosion en masse :

Le volume dans la couverture du sol est lié aux mouvements de masse. Ils signalent fréquemment un stade de développement extrêmement avancé, voire irréversible. En fait, ils sont particulièrement fréquents dans les endroits marécageux. Ces événements ont créé une scène désordonnée sur les pistes.

Bien que les phénomènes de mouvements de masse soient nombreux, ils peuvent être divisés en six catégories (**Roose, 1994**).

a/ Les glissements lents (Creep) :

C'est un glissement plus ou moins lent des couches superficielles de la couverture du sol, le plus souvent sans décollement, que l'on observe couramment sur les fortes pentes. En raison de la forme tordue des bases des arbres matures et de la forme couchée des arbres forestiers juvéniles. La

migration des animaux sur les pentes en milieu sylvopastoral peut également se traduire par la construction de cages d'escalier encadrées par des réseaux de fissures (**Moeyersons, 1989**).

b/ glissements rapides (en planche) :

Les plans de glissement sont des séparations d'une couche de sol plus ou moins épaisse glissant sur un horizon plus compact (typiquement roche usée). (**Roose, 1994**)

c/ Les versants moutonnés :

Ce sont des formes molles qui surgissent lorsque les horizons de surface passent le point de flexibilité et avancent doucement, comme du dentifrice, entre la trame racinaire qui maintient l'horizon de surface et l'horizon compact et imperméable qui symbolise, disons, l'altérité de la marne ou de l'argile. (**Roose, 1994**)

d/ Les coulées boueuses (lave torrentielle) :

Ce sont des combinaisons eau-terre à haute densité qui ont traversé le point liquide et sont capables de transporter rapidement des volumes massifs de boue et de gros morceaux de roche (**Temple et Rapp, 1972**).

e/ Les glissements rotationnels :

Ce sont des glissades dans lesquelles la surface du sol et une partie de la masse glissent en tournant, ce qui entraîne une pente inverse sur la pente. (**Roose, 1994**)

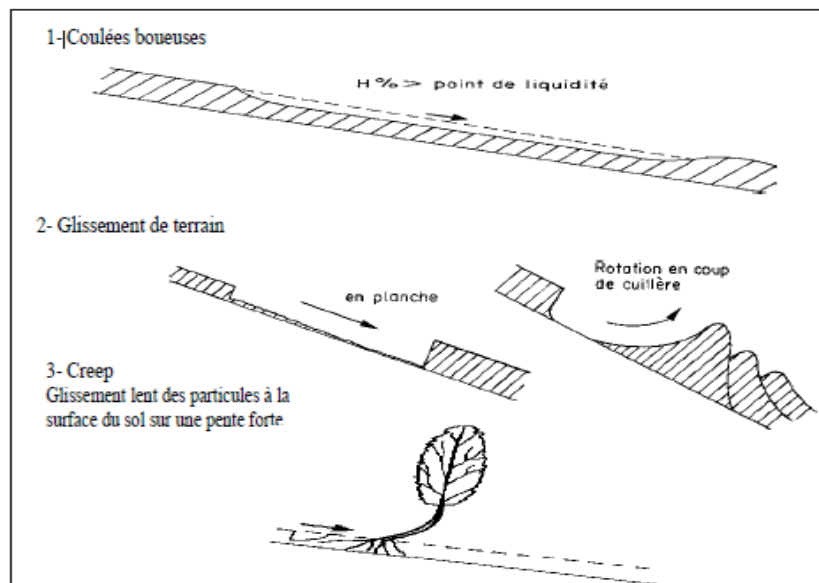


Figure 5 : Différentes formes d'érosion en masse (**Roose, 1994**)**I.4.1.5. Les facteurs de l'érosion :**

L'érosion hydrique est influencée par quatre types de causes.

a/ Facteurs climatiques :

En raison de l'érosivité des pluies, la pluie est la composante climatique la plus importante. Plus ils sont nombreux et intenses, plus la structure du sol est impactée. Les cycles de séchage et de mouillage, ainsi que les grandes variations de température, affectent l'intégrité des assemblages et contribuent à l'érosion.

b/ Facteurs pédologiques :

La capacité d'un bâtiment à résister à l'action de l'eau est déterminée par une combinaison de caractéristiques de cohésion et de stabilité du sol.

Cette capacité est appelée « érodabilité ». Les propriétés physiques, physico-chimiques et biochimiques de la matière organique du sol jouent un rôle particulièrement essentiel (**Calvet et al. 2011**). La texture, la composition minéralogique, la teneur en carbone organique et la composition ionique de la solution du sol peuvent toutes influencer l'érosion.

c/ Facteurs topographiques :

La pente du sol est évidemment un problème critique, car la force du ruissellement en est fortement influencée.

d/ Le couvert végétal :

C'est l'aspect le plus important dans la prévention de l'érosion des sols. Lorsqu'il y a peu de couverture végétale ou de résidus sur le sol, le danger d'érosion augmente. Les résidus et les plantes protègent le sol des pluies et des éclaboussures, ralentissant la vitesse des eaux de ruissellement et permettant une meilleure pénétration (**Bonnet, 1983**). La végétation a divers effets :

- L'interception des gouttes de pluie permet de dissiper l'énergie cinétique, réduisant considérablement l'impact des "éclaboussures".
- Son système racinaire facilite l'infiltration et maintient le sol en place.
- De plus, l'évapotranspiration de la plante augmente la capacité d'infiltration du sol en l'asséchant. Le ruissellement est ralenti lorsqu'il se développe en surface. L'ajout de matière organique au sol augmente sa structure et sa cohésion.

Roose, 1977 divise le couvert végétal en Afrique de l'Ouest en trois catégories :

- Couvert toute l'année : bois, prairies de plus d'un an et cultures arbustives avec plantes de couverture.
- Pendant les mois les plus vigoureux, utiliser un sol nu ou quasi nu.

Les cultures vivrières, les cultures industrielles, les cultures de couverture ou les fourrages plantés tardivement ou au démarrage poussif ont une couverture partielle pendant au moins une partie de l'année.

e/ L'action de l'homme :

Les actes humains suivants peuvent être à l'origine du déclenchement et de l'accélération de l'érosion :

- La déforestation.
- Techniques culturales.
- Incendies et surpâturage.

Lorsque le couvert végétal n'offre plus une protection efficace du sol, l'état de surface du sol devient critique.

Le travail du sol a deux effets opposés sur la résistance du sol à l'érosion :

Le premier impact est que cultiver le sol améliore la perméabilité et l'enracinement des plantes.

La deuxième conséquence du travail du sol est qu'il peut altérer la cohésion du sol et donc sa stabilité structurelle.

- diluer les matières organiques et accélérer leur décomposition
- construire des semelles de charrue en compactant soigneusement la terre.

Le labour a un impact substantiel sur la pénétration des pluies légères ou de la phase précoce des pluies abondantes, selon l'expérience. Après des pluies importantes ou quelques épisodes pluvieux, cet impact devient nul ou négatif (**Hutchinson, 2006**).

I.4.1.6.Mécanisme de l'érosion hydrique :

L'action érosive de l'eau sur le sol se déroule en trois phases distinctes :

a/ Le Détachement des particules de sol :

Lorsque l'intensité de la pluie augmente, la structure est détruite par les gouttes de pluie, qui forcent la terre à rebondir lors de la collision avec le substrat (l'effet splash). Le colmatage de la

porosité se produit pendant cette phase, entraînant la création d'un revêtement de tartre sur la surface. Les croûtes sont la principale cause de la diminution de l'infiltration à la surface du sol, ce qui augmente le risque de ruissellement et d'érosion (**Boiffin, 1985**).

b/ Ruissellement :

C'est le flux d'eau gravitaire à la surface du sol qui suit la pente du terrain et transporte les particules de sol à l'intérieur et dans sa propre direction. C'est aussi l'écoulement des fluides météoriques qui a évité l'infiltration, l'évaporation et le stockage en surface dans les micro-réseaux hydrographiques.

Lorsque l'intensité d'une pluie dépasse le taux de pénétration dans le sol, un ruissellement se produit. Selon (**Chebbani et al. 1999**), elle débute généralement après 22 mm de pluie si le sol est sec ou 4 mm si le sol est humide, encroûté ou compacté.

La probabilité d'émergence du ruissellement varie en fonction de l'état hydrique initial du sol. La sensibilité à l'érosion d'un sol n'est pas permanente. Elle est déterminée par l'interaction du climat, de la condition initiale et de la composition du sol.

Le ruissellement peut prendre la forme d'une « nappe » diffuse. Il sépare les particules fines des agrégats tout en laissant sur place les particules grossières, ce qui se traduit par un « ruissellement concentré en griffes et rigoles dans les zones à circulation d'eau privilégiée associée au micro-relief ».

Le ruissellement, selon (**Chebbani et al. 1999**), peut générer une érosion dramatique, entraînant le creusement de chenaux de formes et de tailles diverses, ainsi que la formation de dépôts meubles et épais. Beaucoup de variation.

Le rapport entre la nappe d'eau de ruissellement et la nappe d'eau précipitée détermine le taux de ruissellement sur une parcelle ; ce taux peut être évalué sur une base annuelle (k_{ram}) ou après un certain orage extraordinaire, où il existe un coefficient de ruissellement maximum (k_{max}). Sur des pentes modestes, l'énergie du ruissellement est évidemment inférieure à celle de la pluie ; mais, à mesure que la pente du site augmente, la rugosité de la surface diminue, et le ruissellement acquiert une force abrasive, lui conférant une énergie supérieure à celle des précipitations.

Selon (Heusch .1970), le ruissellement est fonction du total des énergies érosives, dont la composante la plus importante est l'énergie des eaux de ruissellement. Le ruissellement serait la principale source d'érosion dans cette situation.

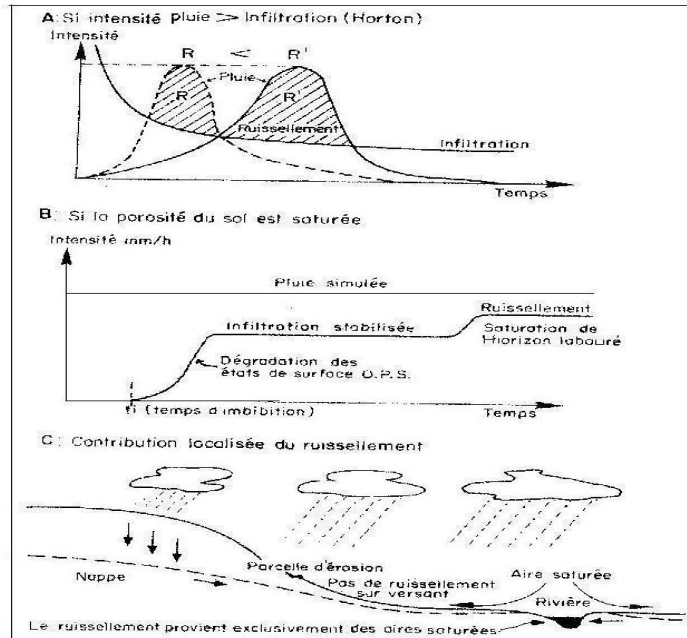


Figure 6 : Les trois théories qui expliquent la naissance du ruissellement cité par (Roose ,1994).

c/ Sédimentation : La sédimentation est le processus qui régule et limite la quantité de sédiments exportés. Il se produit lorsque la capacité de transport du flux est dépassée. En conséquence, cette troisième phase du processus d'érosion hydrique peut être observée, par exemple, lors d'un ruissellement plus lent. Les particules les plus grossières se déposent en premier, suivies des particules plus petites, qui sont transportées plus loin. Nous parlons de la classification de la taille des particules (Kaurak Leite 1990).

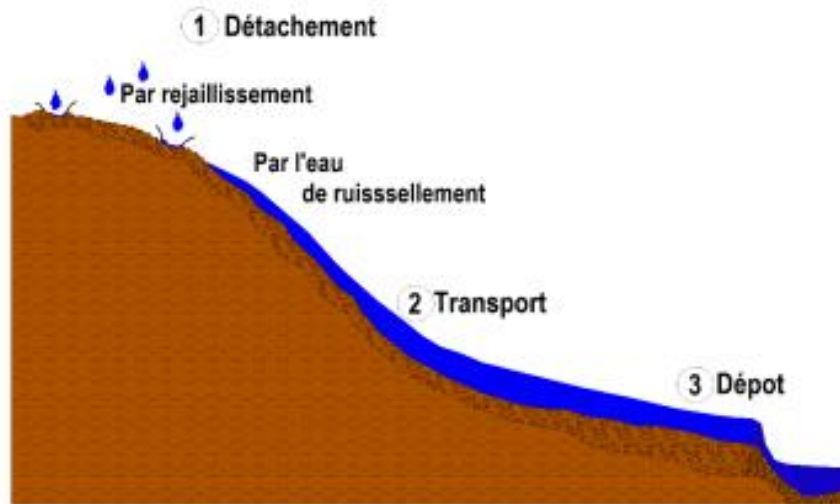


Figure 7 : Mécanismes de l'érosion hydrique (Remmas, 2014)

I.5. L'impact De L'érosion Dans Différentes Régions :

L'érosion est un problème dont l'intensité varie considérablement d'un endroit à l'autre. (Kanwar ,1982) a démontré lors du Congrès mondial de l'Association internationale des sciences du sol à New Delhi que seuls 10 % des 13 500 million d'hectares exposés dans le monde sont aujourd'hui cultivés (soit 1 500 millions d'hectares). En raison de l'érosion, de la salinisation et de l'urbanisation, la perte de terres arables s'est accélérée à 7 à 10 millions d'hectares par an au cours des dix dernières années. A ce rythme, toutes les terres arables seraient détruites en trois siècles. En conséquence, l'érosion est une grave préoccupation à l'échelle mondiale, mais elle l'est encore plus dans des parties spécifiques de la planète, comme le Maghreb et, en particulier, l'Algérie.

Vers 1930, 20 pour cent des terres arables aux États-Unis ont été gravement érodées en raison de la culture imprudente des prairies des Grandes Plaines par des colons européens peu familiers avec ces conditions semi-arides. C'était l'ère lamentable des « bols de poussière », d'énormes tempêtes de poussière qui couvraient les Grandes Plaines.

Ces événements, qui bouleversent l'opinion publique, poussent le gouvernement américain à mettre en place un service massif de conservation des eaux et des terres, mettant une aide technique et financière à la disposition d'agriculteurs volontaires dans chaque canton. Dans le même temps, un réseau de sites de recherche a été établi, ce qui a conduit à la dérivation de l'équation universelle de perte de sol, ou USLE, trente ans plus tard. (Wischmeier, 1978).

Lovejoy et al., rapportent en 1986 que malgré cinquante ans d'énormes investissements en main-d'œuvre et en ressources, 25 % des terres cultivées perdaient encore plus de 12 t/ha/an, au-delà d'une limite acceptable connue. Par conséquent, la question est toujours sur la table, même si nous nous préoccupons désormais davantage de la pollution et de la qualité de l'eau que de la protection des sols.

De (**Ploey, 1990**) estime que l'érosion a gravement touché 25 millions d'hectares dans la Communauté économique européenne (CEE). La France aurait une superficie totale de 5 millions d'hectares, avec un coût de 10 milliards de FF pour les désagréments causés par l'érosion, sans compter la valeur intrinsèque des sols perdus, impossible à mesurer. Les constats des bilans de perte de sol sur parcelles (100 m²) menés par l'ORSTOM et les instituts du Cirad depuis les années 1950, sous la direction du professeur Frédéric Fournier, sont plus sévères que ces déclarations exagérées (**Roose, 1967**). Dans les cultures spécifiques aux régions forestières à pentes moyennes (4 à 25 pour cent), les pertes en sol varient de 1 à 200 t/ha/an (jusqu'à 700 tonnes en montagne, sur des pentes de 30 à 60 pour cent), les pertes en sol de 0,5 à 40 t/ha sous mil, sorgho, arachide et coton sur les longs glacis ferrugineux tropicaux des régions soudano-sahéliennes (**Roose et al., 1984**).

I.6. L'érosion en Algérie :

L'érosion hydrique reste un problème grave dans le nord de l'Algérie, le ruissellement en étant la principale cause. La distribution spatiale du ruissellement est influencée par les précipitations, des facteurs géologiques et bio-physiographiques (topographie, couvert végétal). L'érosion se produit principalement sur les sols en pente et est l'une des causes les plus courantes de dégradation des sols dans les chaînes de montagnes semi-arides. Elle s'est aggravée après le défrichement des forêts et des maquis qui protégeaient les sols vulnérables. (**Mohammed Achite et al, 2006**).

Les facteurs socio-économiques, ainsi que les variables hydro-climatiques, s'enchaînent naturellement dans le nord algérien, notamment dans l'ouest du pays, pour accélérer et favoriser le déclenchement de ce mécanisme néfaste, qui affecte l'équilibre environnemental régional et local (**Dekiche et al. 1997**).

Au nord de l'Algérie, l'érosion hydrique touche 28% des terres. La zone des massifs telliens aux fortes pentes est la plus impactée. La création de ravins et ravines sur l'ensemble du versant avec le socle rocheux en saillie et une évolution en badlands sont des signes d'érosion (**Hadjiat, 1997**).

L'érosion hydrique varie en intensité d'un endroit à l'autre. La moitié ouest du pays est la plus dégradée, l'érosion affectant 47 % des terres ; viennent ensuite le centre (27 %) et l'est (26 %). L'Algérie est l'une des nations les plus menacées par l'érosion dans le monde, avec une érosion particulière comprise entre 2000 et 4000 Tonnes/km²/an (**Demmak, 1982**).

I.7. Définition du MNT :

Un modèle numérique de terrain (MNT), peut être défini comme une représentation continue, des élévations du terrain ; ce modèle va nous permettre de passer d'une plateforme physique à une plateforme numérique, ce qui va nous faciliter l'extraction des indices morphologiques, tels que : les pentes et les courbures.

A la fin des années cinquante, Miller et La Flamme, deux ingénieurs américains du prestigieux Institut de Technologie du Massachusetts (MIT), ont donné une panoplie de techniques pour la production des MNT (**Miller et La Flamme, 1958**). Ces techniques, ainsi que l'évolution des technologies, ont conduit l'Institut d'Etudes Géologiques des États-Unis (USGS), en 1975, à générer le tout premier MNT (**Poppenga, 2009**).

De nos jours, les MNT sont devenus une des données les plus prisées dans l'analyse géo spatiale (**Toutin & Gray, 2000**).

I.7.1 .Format Vecteur :

Dans ce format, les MNT sont généralement stockés sous forme de réseaux triangulés irréguliers (TIN8). Les sommets dans cette distribution irrégulière sont connectés par des lignes, en utilisant une relation plus-proche-voisin, telle que la triangulation de Delaunay, formant des triangles équilatéraux possible. Ces triangles ne doivent pas se chevaucher, et les sommets sont connus en coordonnées X, Y, et Z. Ce genre de représentation donne des informations sur l'altitude et sur quelques caractéristiques géomorphologiques telles que : pentes et aspects, mais il est aussi capable de s'adapter à la nature du terrain : dans les régions complexes, les TIN donnent plus d'informations que dans les régions peu-complexes. (**Gary., 2008**) L'algorithme des MNT est beaucoup plus complexe que celui du format Raster.

I.7.2. Format Raster :

Dans ce format à base de cellules, les MNT sont représentés comme des grilles de carrés, comprenant des rangées et des colonnes de cellules ; et dans chacune de ces cellules, on a une valeur d'élévation unique. Le format Raster peut être classifié en deux catégories : une catégorie continue

(ex. : élévation de surface), et une autre thématique (ex. : pays précisément définis par leurs frontières politiques). Contrairement aux MNT, les Raster peuvent ne pas s'adapter à la complexité du relief. Il y a une multitude de raisons, suivant lesquelles on peut choisir un format et non pas l'autre, tout dépend des besoins escomptés du MNT.

De nombreux logiciels permettent de migrer d'un format à un autre, grâce à des méthodes d'interpolation.

I.8. Systèmes d'informations géographiques (SIG) et cartographie :

Selon (**Berger et al. 2005**), Un système d'information géographique (SIG) est une série coordonnée d'activités généralement automatisées qui permettent de transcrire et d'exploiter des données géographiques sur un même territoire. Ce système cherche à agréger autant de sources disponibles que possible, y compris les bases de données, le savoir-faire et la capacité de calcul, en fonction des applications recherchées. Quatre fonctionnalités principales distinguent un SIG. (**Hessas, 2005**) :

- Saisie des données
- Stockage, récupération et gestion des données
- Manipulation et analyse des données
- Affichage des données permettant à l'utilisateur de comprendre les phénomènes spatiaux

I.8.1. Le SIG en théorie :

De nos jours, il existe une pléthore de logiciels (SIG) disponibles pour aider les utilisateurs dans leurs tâches ; ces derniers peuvent différer en termes de représentation et de gestion des données géographiques. Les chercheurs s'intéressent particulièrement aux SIG en raison de leur capacité à organiser et intégrer des données spatio-temporelles. Il est important de garder à l'esprit que ces outils (SIG) permettent d'examiner les corrélations spatio-temporelles entre les données géographiques. Selon (**Eastman 1995**).

Grâce à cette compréhension, les chercheurs ont pu concevoir plusieurs méthodologies d'analyse multicritères et d'aide à la décision assistée par ordinateur. (**Berger et al. 2005**), ont montré que les progrès scientifiques en matière d'informatique et d'électronique ont donné lieu à différentes applications des SIG :

- Gestion et aménagement du territoire ;
- analyse et prédiction des risques majeurs ;

- Élaboration des scénarios d'évacuation et d'intervention de sécurité civile ;
- Santé (étude de la prolifération et de la propagation d'une épidémie) ;
- recherche en écologie, foresterie, hydrologie et géologie ;
- Militaire (logistique et mouvements de troupes).

I.8.2. Intérêts des SIG en foresterie :

D'après (Esri ,2010), Pour gérer les ressources en bois lourd et assurer une gestion durable des forêts, les agences forestières s'appuient sur les SIG. Ces organisations utilisent le SIG pour une variété de tâches, y compris l'estimation des sols, l'analyse du marché du bois lourd, la planification des itinéraires de récolte et la visualisation des paysages ruraux.

Selon **Dykstra (1996)**, les objectifs des SIG en foresterie se regroupent en deux catégories :

- Extraction d'informations détaillées sur la forêt par télédétection aéroportée ou satellitaire (Occupation du sol, images Radar, MNT)
- Développement de méthodes d'intégration d'informations multi sources dans les systèmes d'aides à la prise de décision pour le développement durable des forêts.

Le système d'information géographique est désormais l'instrument de premier choix dans les domaines d'intervention suivants en aménagement forestier :

- Analyse d'impact du bâtiment ; poste d'observation, maison forestière, station d'eau, banquets, etc.
- L'administration des réseaux de communication, qui s'est avérée critique dans les opérations de lutte contre les incendies et d'exploitation du bois.
- Gestion du matériel et du personnel.
- Mise en place d'un fonds national du plan cadastral forestier.
- Inventaire, gestion et sylviculture des ressources forestières.
- Suivi du processus de désertification.
- Suivi de l'état sanitaire des forêts.
- Défense des forêts contre les incendies.

I.9. Introduction à QGIS :

QGIS est un logiciel SIG libre (open source). Il a été conçu en mai 2002. En juin 2002, il s'est établi en tant que projet sur Source Forge. Depuis 2007, il a été développé par Open Source Geospatial Foundation (OSGeo). QGIS est distribué sous la licence GNU GPL (General Public

License). Ceci permet aux utilisateurs de le partager et de le modifier librement (modifier le code source), tout en ayant la garantie d'avoir accès à un programme SIG non onéreux et librement modifiable.

QGIS gère un grand nombre de formats raster et vecteur, avec le support de nouveaux formats facilité par l'architecture basée sur les extensions

L'amélioration permanente de ses fonctionnalités, qui englobe notamment la création de données, l'édition, la manipulation, l'analyse, le stockage et la représentation visuelle, QGIS devient ainsi populaire et connaît une large utilisation par des compagnies privés des organisations à l'échelle mondiaux.

Aujourd'hui, QGIS est utilisé pour les projets (**Andreas, 2011**) :

1. Visualisation des données sur les eaux usées, intégration des bases de données supplémentaires, et accès direct aux protocoles d'inspection et de caméras vidéo.
2. Visualisation et édition pour les systèmes de planification urbaine, de planification.
3. environnementale, de gestion de l'hydrologie, et de gestion des eaux usées.
4. Visualisation des données d'inventaire souterrain (assainissement, adduction d'eau potable, gaz, électricité, et récemment réseaux de télécommunication).
5. Visualisation des données topographiques et cadastrales.
6. Visualisation et édition de l'inventaire communal des sites naturels protégés.
7. Visualisation et édition des données de planification urbaine et régionale.
8. Visualisation et édition des données de l'infrastructure routière.
9. Visualisation de statistiques créées directement depuis la base de données des habitants passés et présents.
10. Planification et Visualisation pour l'aménagement énergétique (fourniture de gaz, chauffage à partir d'eaux usées, énergie géothermique en sous-sol, centrales de chauffage, etc.). Actuellement d'autres projets similaires sont développés.

I.9.1. Les formats supportés par QGIS

Dans un QGIS, deux types de formats de stockage de données sont possibles format vectoriel et le format raster

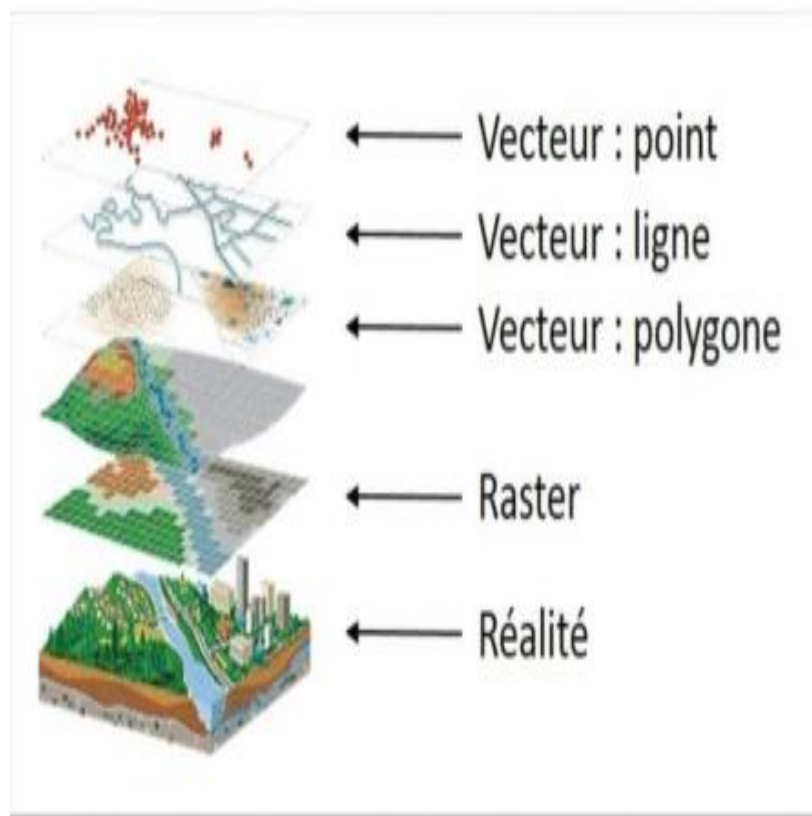


Figure 8 : Modes de données dans QGIS. (Mekrarbech « Et Haloui ; 2018)

I.9.2. Format vectoriel :

Les données vectorielles représentent des entités sous forme de points, lignes et polygones dans un espace géographique. Les entités vectorielles sont accompagnées de leurs données attributaires descriptifs de type alphanumériques standard (Raper et Maguire, 1992). Ces données attributaires peuvent être des informations texte ou numérique.

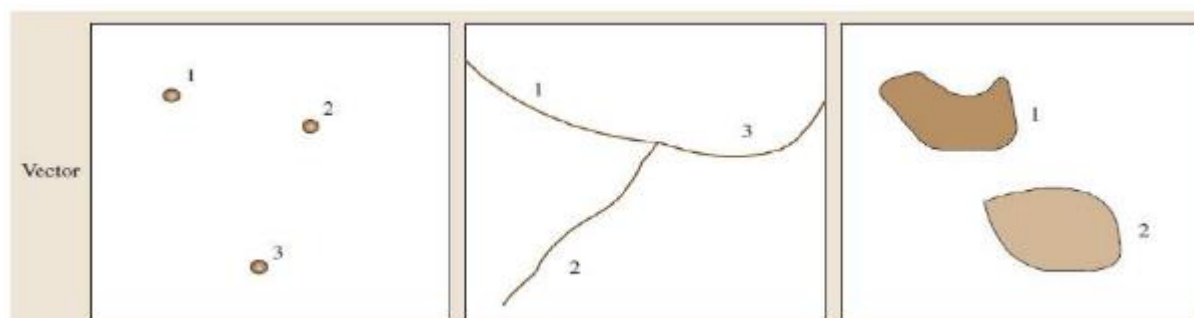


Figure 9 : Format vectorielle ; de la gauche à droite : Points, lignes et polygone (Wolfgang et al. 2012)

I.9.3. Format raster :

La réalité est décomposée en une grille régulière et rectangulaire, organisée en lignes et en colonnes, chaque maille de cette grille ayant une intensité de gris ou une couleur. La juxtaposition des points recrée l'apparence visuelle du plan et de chaque information. Une forêt sera "représentée" par un ensemble de points d'intensité identique (**Elisabeth-IRD ; 2000**).

I.10. La télédétection :

La télédétection est une discipline scientifique qui englobe l'ensemble des connaissances et des techniques d'observation, d'analyse, d'interprétation et de gestion de l'environnement à partir de mesures et d'images recueillies à partir de plateformes aériennes, spatiales, terrestres et marines. Elle suppose la collecte d'informations à distance, sans contact direct avec l'élément détecté, comme son nom l'indique. « Ensemble des informations et des techniques utilisées pour identifier les caractéristiques physiques et biologiques des choses par des mesures obtenues à distance, sans contact matériel avec elles », selon la définition officielle de la télédétection (**Comitaas, 1988**).

I.11. Intérêts de l'imagerie et des SIG pour l'étude de l'érosion :

Selon la documentation examinée, les professionnels qui enquêtent sur l'érosion ont deux options de base : les enquêtes sur le terrain et les analyses utilisant des systèmes d'information géographique (SIG). Pour diverses raisons, la deuxième méthode est plus courante. Le SIG peut collecter, stocker, extraire, manipuler et afficher des données géographiques en même temps (**Burrough, 1987**). Le SIG a fait des progrès significatifs dans une variété d'industries en permettant la manipulation et l'analyse distinctes des couches de données géographiques. Des interactions entre plusieurs couches d'information peuvent être créées à l'aide de techniques d'analyse et de modélisation (**Bonham-Carter, 1994**). Le SIG, par rapport aux enquêtes sur le terrain, permet d'évaluer les problèmes sur de vastes régions à un coût réduit grâce à l'utilisation d'images satellites et de photographies aériennes.

En effet, l'étude de l'érosion nécessite l'utilisation de ces deux dernières formes de données raster. Lorsque les capteurs satellitaires sont insuffisants, il est recommandé de combiner les images aériennes et les images satellitaires lors des analyses régionales (**Stephens et Cihlar, 1981 ; Breyer, 1982**). Ces deux supports de données sont complémentaires car ils ont des résolutions distinctes. Il est possible de discerner des rigoles relativement petites à l'aide d'images aériennes à des tailles de 1/20 000 à 1/5 000. Ces photos doivent être prises dans un environnement sec.

I.12. Méthodes utilisées pour étudier l'érosion :

De multiples approches pour décrire l'environnement et étudier l'érosion ont été développées à travers le monde à l'aide des SIG. Ces outils, souvent basés sur l'étude de photographies aériennes et d'images satellitaires, permettent de mieux appréhender et analyser cette problématique environnementale. En fonction des dangers potentiels. Si un incident se produit, des techniques de suivi et de surveillance peuvent être utilisées pour préserver la sécurité des personnes, de l'environnement et des biens. Un rapide tour d'horizon des méthodologies les plus adaptées au contexte méditerranéen sera proposé.

I.12.1. Méthode « Universal Soil Loss Equation » :

L'équation universelle de perte de sol est l'une des techniques les plus largement utilisées pour mesurer l'érosion hydrique (USLE). Wischmeier et Smith ont établi cette équation pour les régions cultivées en 1978, et elle prend en considération les facteurs suivants : érosion pluviale, topographie, couvert végétal et protection des sols (**Deumlich et al, 2006**). L'USLE (Updated Universal Soil Loss Equation) est un modèle empirique révisé de l'érosion des sols (**Renard et al, 1997**). L'érosion pluviale, l'érosion des sols, la pente, la couverture du sol et les pratiques qui y sont faites, ainsi que les mesures de conservation mises en place, sont les paramètres sur lesquels cette technique est fondée (**Yue-Qing et al, 2009**).

I.12.2. La méthode PAP/CAR

Trois étapes méthodologiques sont incluses dans la méthode PAP/CAR :

- Une méthode de contrôle de l'érosion basée sur une cartographie thématique de variables (pente, lithologie, occupation du sol et degré de couverture végétale). Cette méthode aboutit à la création d'une carte de l'état de l'érosion qui décrit le degré d'érosion dans toute la zone.
- La technique descriptive fournit une image réaliste des nombreux types d'érosion observés dans la région de recherche, ainsi que de leur degré de détérioration.
- La superposition de cartes d'états érosifs générées par cartographie thématique et de cartes de formes d'érosion obtenues par cartographie descriptive directe des formes d'érosion au sol ou images satellites est la technique d'intégration.

I.12.3. Modèle d'Érosion hydrique en milieu semi-aride de Forte Énergie de Relief

Une équipe du CARTEL présente un modèle d'érosion hydrique adapté aux zones semi-arides à relief escarpé. Le MEH-SAFER (Modèle d'érosion hydrique en milieu semi-aride à haute énergie de relief) est un modèle d'érosion hydrique en milieu semi-aride à haute énergie de relief (**Tidiane et al, 2003**). Il est basé sur une méthode qui combine un nouveau modèle de cartographie de vulnérabilité topographique (MNT) et une analyse discriminante avec des images satellitaires multi-sources (SAR de RADARSAT-1, ETM+ de Landsat-7 et HRV de SPOT-4) pour exploiter images satellitaires (SAR de RADARSAT-1, ETM+ de Landsat-7 et HRV de SPOT-4). Ce modèle a une précision de 80%, selon les résultats recueillis en Bolivie (ib.). Ce modèle a été créé pour visualiser les dangers de l'érosion hydrique. La méthode consiste à créer une carte de potentiel de ruissellement en fusionnant les données hydro-pluviométriques et les unités géo-écologiques, puis à combiner cette carte avec le croquis géomorphologique. Une carte topographique de vulnérabilité est le produit final (**Ouattara et al, 2002**).

I.12.4. Cartographie de l'aléa « érosion hydrique »

Luneau définit le danger « érosion hydrique » comme la combinaison de la sensibilité des sols et des précipitations, d'après cette recherche cartographique de (**Dumas ,2004**). Les indicateurs récupérés sont l'indice d'érodabilité du sol, le degré de protection procuré par le couvert végétal, la pente, la courbure horizontale, la courbure du profil, les surfaces drainées et les données pluviométriques. Ces indicateurs ont été pondérés lors d'une phase de standardisation et un modèle statistique a été construit à partir d'une évaluation multicritère (**Luneau, 2006**).

I.12.5. Trois indices utilisés pour estimer l'érosion des sols :

(**Atherton et al., 2005**) ont créé un indice "Relative Erosion Prediction" (REP) tout en recherchant les phénomènes d'érosion des bassins versants aux Fidji. Cet indicateur est une mesure de la prévisibilité relative de l'érosion des sols. La pente, la couverture terrestre, les précipitations absolues ou saisonnières et l'érodabilité du sol sont les cinq paramètres environnementaux clés qui contribuent à l'érosion dans ce modèle. Des indices statistiques ont été créés pour chaque bassin versant étudié en fusionnant les différents niveaux de données. Ces auteurs ont également créé le Watershed Development Index (WDI), qui représente le degré d'influence des infrastructures sur le bassin versant.

La densité des routes, le nombre de cours d'eau traversés par des routes par kilomètre carré et le degré de déforestation étaient tous des facteurs pris en considération. L'indice composite des menaces est créé en combinant le REP et le WDI (CTI). Le danger d'érosion dans le bassin versant est représenté par ce nouvel indicateur (**Atherton et al. 2005**).

CHAPIRE II :

Présentation de la zone d'étude

CHAPITRE II :

PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE : PARC NATIONAL DE TENIET EL HAD

II.1. Introduction:

Le parc national de Theniet El Had est la première zone naturelle protégée en Algérie. Le 03 Août 1923 le parc national des cèdres a été créé par arrêté gouvernemental colonial. Le 23 juillet 1983, la cédraie est déclarée à nouveau parc national par décret présidentiel (**Mairif., 2014**).

Le parc est situé à 185 km au sud-ouest de la capitale Alger, La forêt des cèdres du parc est unique à l'Ouest, c'est aussi l'un des rares endroits de la Méditerranée par son importante superficie et ça biodiversité écologique avec une flore comprend environ 647 espèces dont beaucoup sont endémiques d'Algérie et pour la faune 625 espèces énumérées dans le parc et inventoriées, dont la plupart sont protégées.

Dans ce chapitre nous allons faire une présentation générale du parc national de Theniet El Had, mais dans notre travail nous avons fait le choix sur le canton de Pré Benchohra pour l'utilisation des SIG et du modèle USLE pour la quantification de l'érosion la base de la cartographie du risque de dégradation des sols.

II. 2. Aperçu historique :

Sur le plan historique, la forêt domaniale de Theniet El Had avait connu une succession d'aléas naturels et d'inadvertances humaines entre 1843 et 1920, les incendies de 1891, 1902, 1903 et 1905 et les exploitations considérables par le service forestier, ce qui conduisait à sa dégradation progressive (**Zedek, 1993**). Face à ces problèmes, le 03 Août 1923 le parc national des cèdres a été créé par arrêté gouvernemental sur une superficie de 1563ha de la forêt domaniale des cèdres d'une superficie totale de 3616ha (**Anonyme 1930 ; Boudy, 1950**).

La cédraie de Theniet El Had compte des peuplements de tous âges, Les exploitations et le pâturage étaient interdits. Elle est considérée comme la plus pittoresque des cédraies algériennes et l'une des plus belles curiosités naturelles de l'Algérie **Boudy (1950)**.

Pendant la guerre de libération, certains cantons inaccessibles aux forces coloniales sont déclarés comme zones interdites et soumises assez régulièrement à des durs bombardements le plus souvent au NAPALM. (**Sari 1977**).

II. 3. Situation géographique :

Le parc national de Theniet El Had sis dans la partie septentrionale de l'Ouarsenis comprise entre les monts de Beni Chograne à l'Ouest, les monts de Tetteri à l'Est, la vallée du Chelif au Nord et les plaines du Sersou au Sud. La forêt étendue sur les versants de Djebel el Meddad dont le cèdre occupe près de 1/3 de la superficie totale du parc. Il est distant de 52 km du chef-lieu de la wilaya de Tissemsilt et à environs 1,8 km du chef-lieu de Daïra de Theniet El Had. Il est localisé entièrement dans la Wilaya de Tissemsilt, distant de 180 Km au sud-ouest d'Alger, il s'étend sur les communes de Theniet El Had te celle de Sidi Boutouchent. (PNTH, 2006).

Suivant les coordonnées géographiques :

- Latitude : 35° 54' 4'' et 35° 49' 41'' de latitude Nord ;
- Longitude : 02° 02' 4'' et 01° 52' 45'' de longitude Est ;

II. 4. Situation administrative :

a. Situation administrative publique : de point de vu découpage administratif le territoire du

Parc fait partie de : Wilaya de : Tissemsilt
 Daïra de : Theniet El-Had
 Commune de : Theniet El-Had

b. Situation administrative forestière : en ce qui concerne l'administration forestière, la zone

fait partie de : Conservation : Tissemsilt
 Circonscription: Theniet El-Had
 District : Theniet El-Had (Mairif, 2014)

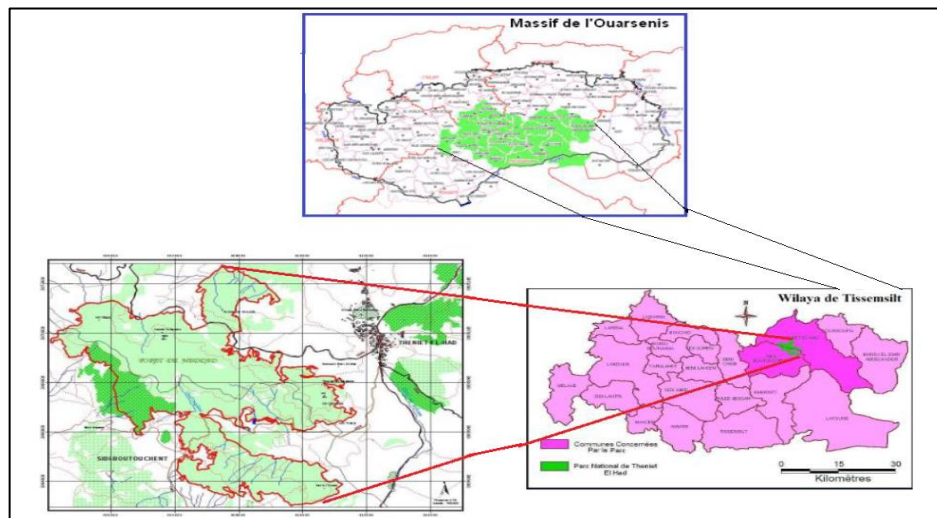


Figure10 : Situation Géographique ET administrative du parc national de Theniet El Had (Mairif, 2014 modifie)

Le parc national de Theniet El Had est divisé en dix (10) cantons, dont la grande partie de superficie se trouve au niveau du versant Sud sur une étendue de 2052 ha, il apparaît que le canton Fersiouane constitué essentiellement de peuplement à base de chênaies en plus quelques sujets de pistachier d'Atlas, représente la plus grande surface (637 ha). (Source : PNTH, 2002).

II.4.1.Canton Pré-Benchhra :

Le lieu pour étudier C'est canton pré Benchhra Clairière arrosée au milieu d'un beau peuplement de cèdres. Dans ce splendide écrin de verdure et de vie, des formations rocheuses bizarres et le glouglou des eaux de sources s'offrent gracieusement au plaisir du visiteur (Meziane, 2017).

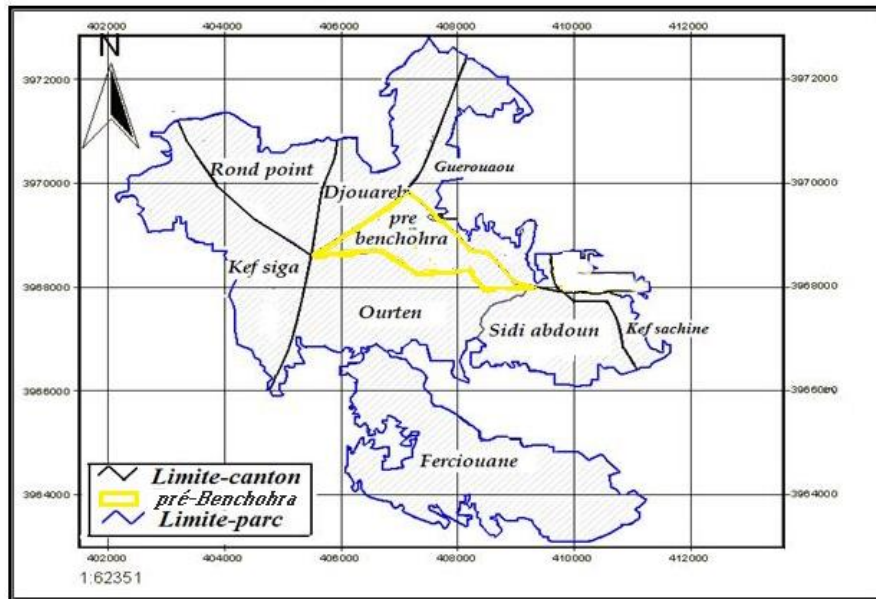


Figure 12 : Localisation de la zone d'étude (Canton Pré-Benchhra) dans PNTH (PNTH, 2002).

II .5. Étude des caractéristiques physiques et édaphiques de la zone d'étude :

Ses caractères consistent l'exposition, géomorphologie aussi que délimitation et superficie Réseau hydrographique, Géologie et Pentés.

II .5.1. Exposition :

Selon **Dip et Zaiz (2011)**, l'existence de nombreux Kefs orientés dans tous les sens, ce qui traduit un relief extrêmement accidents de diverses expositions. La zone englobe trois ramifications principales (Nord, Sud et Ouest). 64,68% de la surface totale du PNTH possède des expositions Nord et Nord-Est.

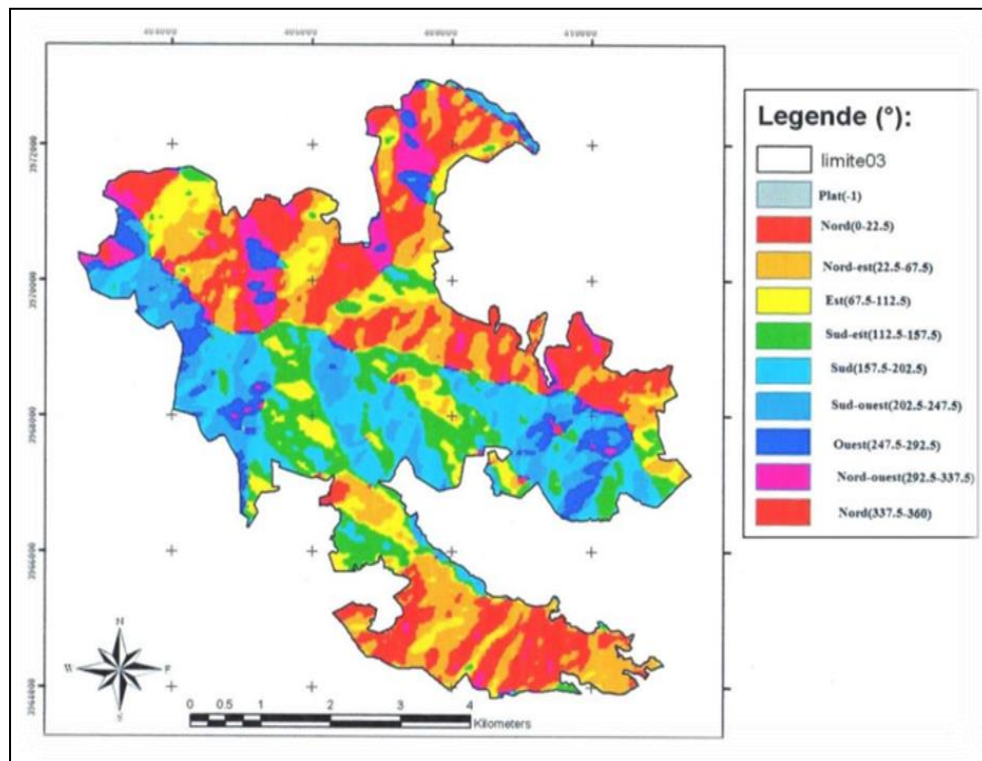


Figure 13 : Carte des expositions du Parc National de Theniet El Had (**Zaiz et Dib,2011**).

II.5.2. Géomorphologie :

La zone est scindée en deux versants, un versant Nord très accidenté avec des pentes fortes et un versant Sud moins accidenté avec une pente modérée. Djebel El-Meddad se caractérise par un relief très accidenté dont l'existence de nombreux Kefs et Thalwegs de différentes orientations. (**Meziane, 2017**).

Ce Parc National abonde en sites artistiques extrêmement variés. Parmi ceux qui méritent une mention spéciale, on doit citer :

II.5.3. Géologie :

MATTAUER, M. (1954) indique que la partie centrale du parc est constituée des sédiments oligocènes présentant un faciès numidien constitué de grès à couche épaisse, se couchant sur flysch argileux ou argileux marneux. Dans la partie Ouest, se localisent les sédiments de moyen éocène développés surtout en marno-facies. Les accumulations quaternaires sont très répandues dans les limites du parc. Elles entourent le massif de grès numidien et sont présentées par des formations grossières d'apport colluvial et illuvial qui résultent d'un foudroyage intensif de processus d'éboulement et de glissement.

II .5.4. Pentas :

Suivant les deux versants du parc, à l'exception du canton pépinière où la pente dépasse guère 15° ; les fortes pentes du côté nord estimées en moyenne à 40° d'inclinaison, Le versant sud par contre présente des pentes plus ou moins fortes (25° au maximum). (**Mairif., 2014**)

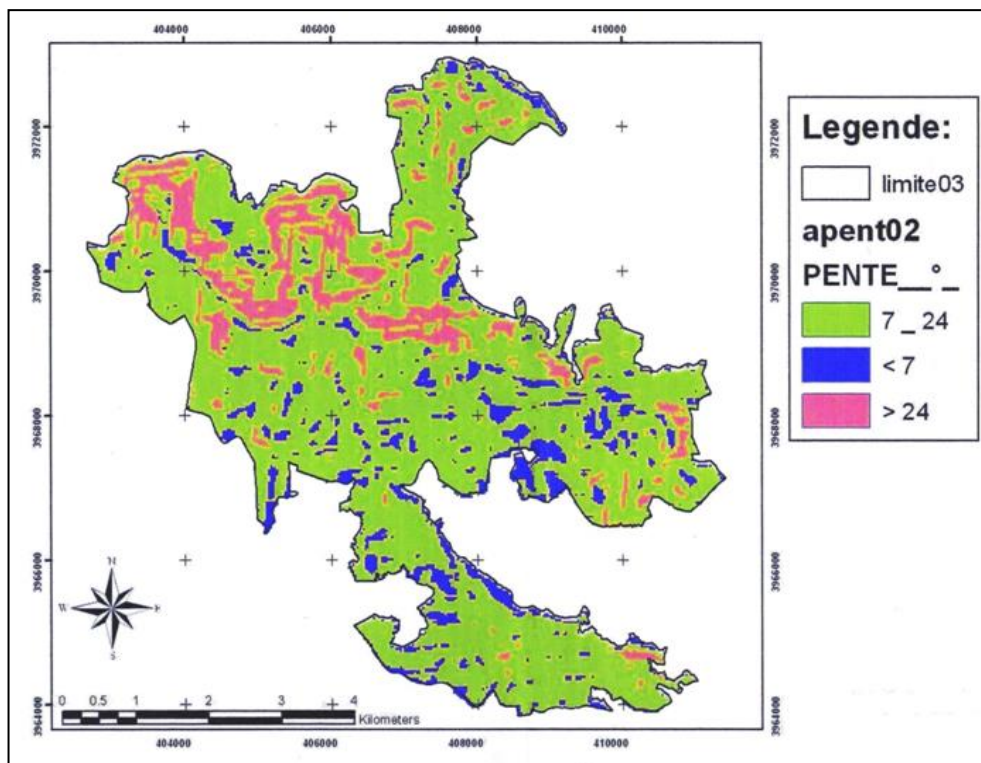


Figure 14 : Carte des pentes du Parc National de Theniet El Had (**Zaiz et Dib Ensa 2011**)

II .5.5. L'Altitude :

Le parc est compris entre deux points d'altitude 858 et 1.787m. « Ras El Braret » est le point le plus haut à une altitude de 1787m se localisant dans contons Rond-Point. Nous retrouvons au

niveau de ce point des surfaces boisées, des clairières et des formations rocheuses. Le point le plus bas, il se situe à 858m au canton Djouareb (PNTN 2006).

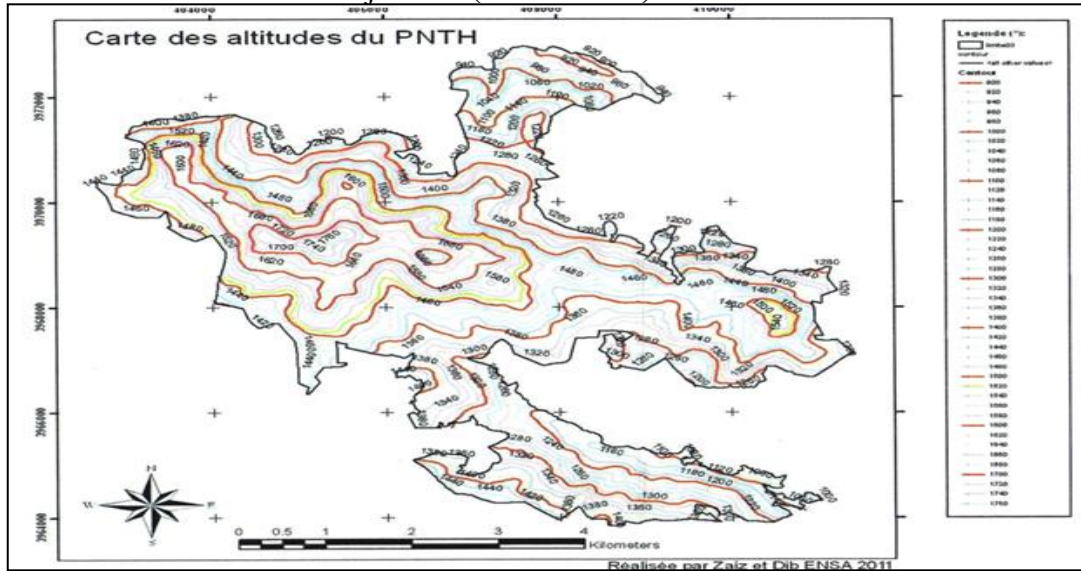


Figure 15 : Carte des altitudes du parc national de Theniet El Had (Zaiz et Dib, 2011)

II.5.6. Réseau hydrographique :

Il existe dans le parc national deux oueds permanents à sa périphérie :

- Oued Mouilha au Nord Est du Parc, un affluent de l'Oued Zeddine
- Oued El Ghoul au Sud du Parc, affluent du Nahr Ouassal (Abdelhamid et Gherf, 2011).

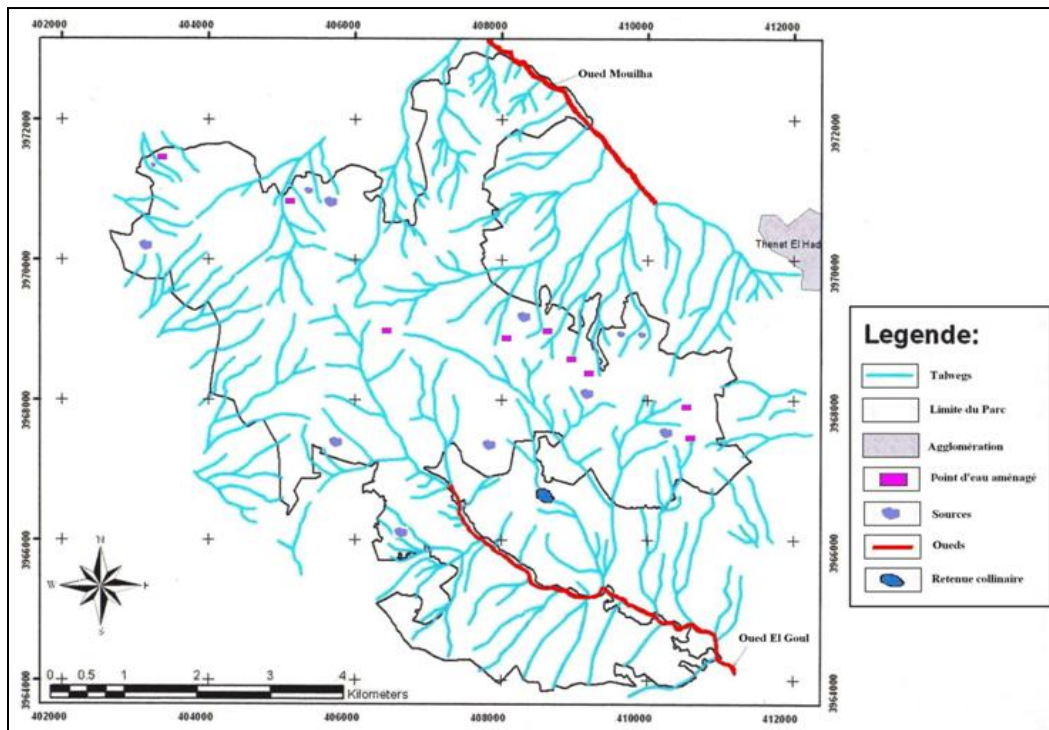


Figure 16 : Carte du réseau hydrographique du Parc National de Theniet El Had (Mairif, 2014)

Le parc national contient plusieurs sources, dont certaines sont utilisées pour les besoins des riverains, de la faune sauvage et touristes, le tableau suivant présente quelques sources et leurs principales caractéristiques :

Tableau 1 : Sources de la zone d'étude et leurs principales caractéristiques

Versant	Canton	Altitude	Pente	Expo	Type de Sol	Type de Terrain	Source
Sud	Ferciouane	1300 m	15	SE	Peu évolué d'apport colluvial	Peuplement	Ain Gsab
		1400 m	12	SE	Peu évolué d'apport colluvial	Peuplement	Ain Tiguechrine
	Sidi Abdoun	1280 m	10	SE	Peu évolué d'apport colluvial	Clairière	Ain Kouba niya
		1340 m	8	S	Peu évolué d'apport colluvial	Maison forestière	Ain Touila
Nord	Pépinière	1340 m	15	E	Peu évolué d'apport colluvial	Clairière	Sidi Hrazem
	Pré-Benchohra	1480 m	20	NE	Minéraux bruts d'érosion roche mère Grés colluviaux	Peuplement	Ain Missoum
		1500 m	10	NE	Peu évolué d'apport colluvial Roche mère : Grés colluviaux	Terrains dénudés	Ain Toursout
	Rond-point	1400 m	33	NW	Peu évolué d'apport colluvial	Peuplement	Ain Harhar

(Naggar, 2010)

II.5.7. Pédologie :

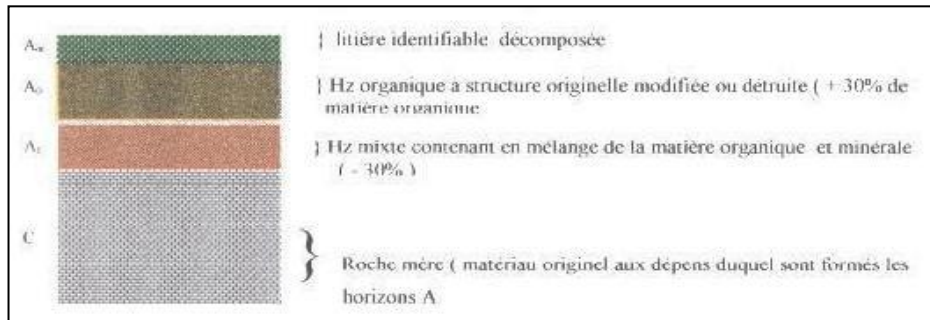
En 1930, le gouvernement d'Algérie a caractérisé le parc par des sols assez maigres, peu profonds et déchirés souvent par roche à nu et entrecoupé d'escarpement rocheux atteignant une centaine de mètre de hauteur. La carte nationale des sols de **Durand (1954)** caractérise la zone par deux types de sols :

- Les sols calcaires
- Les sols insaturés humifères

Cependant l'étude **Bulgare** faite sur l'Ouarsenis distingue les types de sols suivants :

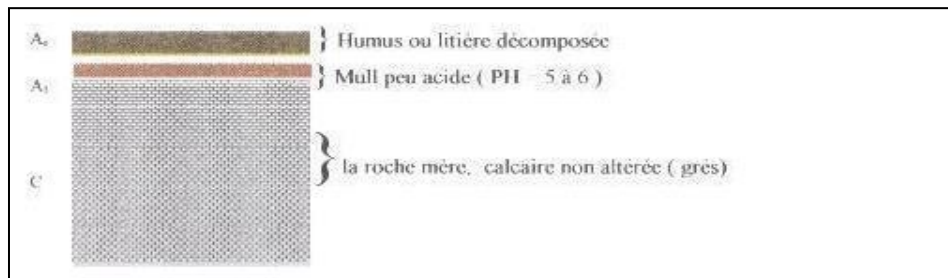
- **Les sols peu évolués d'apport colluvial** Ces sols se localisent sur les deux versants, principalement sur les crêtes et les terrains à faibles pentes ; et se caractérisent par une

hétérogénéité de structure et texture résultant des phases successives de colluvionnement. Et sont également pierreux en profondeur et à la surface avec une texture grossière sans carbonates, très pauvres en matière organiques et éléments nutritifs.



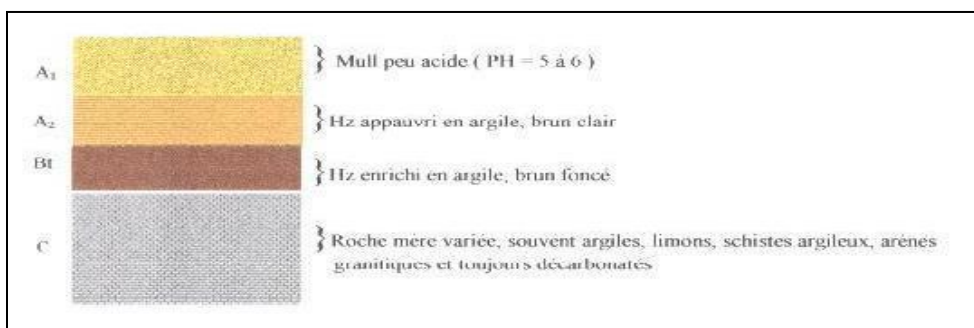
Source : PNTH.2002

- Les sols minéraux bruts d'érosion Ce sont des lithosols résultant généralement d'érosion et se localisant sur des fortes et moyennes pentes où l'érosion hydrique est très importante



Source : PNTH.2002

- **Les sols brunifiés lessivés** Sol léger et riche en argile se regroupant sur les versants de la ligne principale vers l'Est, ce sont des sols de profil pédologique complet de type A, B et C, ou l'horizon superficiel est riche en azote, en potassium et en matière organique Ils se localisent au niveau des bas-fonds.



Source : PNTH.2002

II.5.8. Roches :

Le Parc National de Theniet El Had contient des massifs rocheux situés sur des crêtes que ce soit le versant nord ou le versant sud. Les roches siliceuses et fréquentés par les oiseaux constituent un substrat favorable pour certaines espèces saxicoles de lichens. **(Khedim, 2019)**

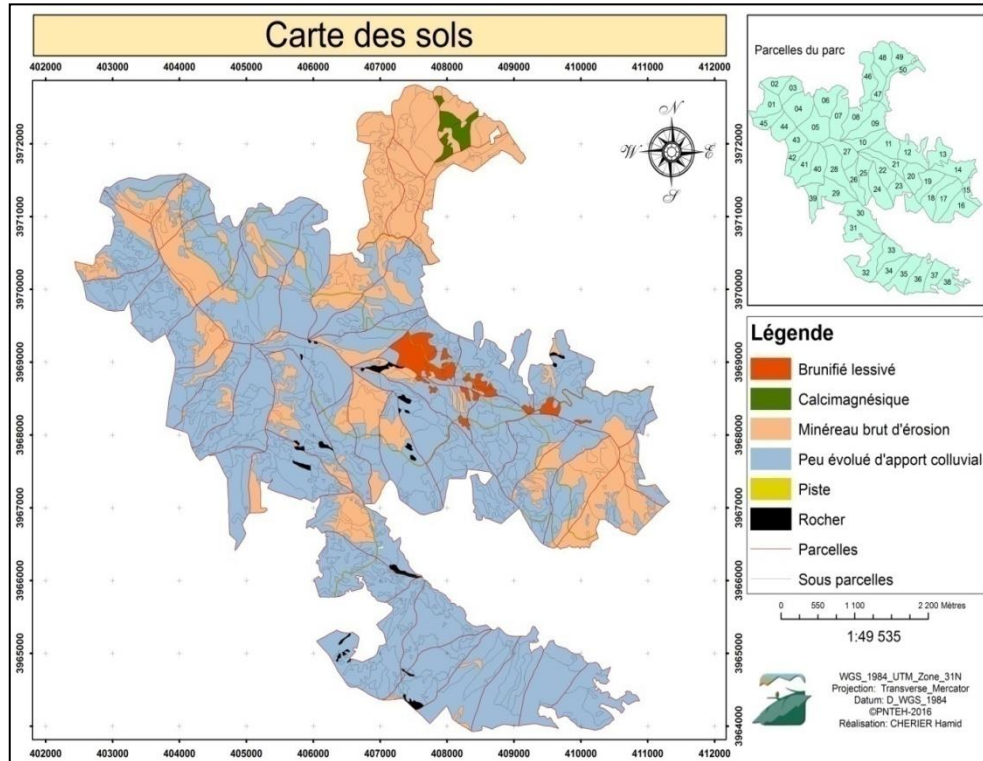


Figure 17 : Carte des sols du Parc National de Theniet El Had, **(PNTH, 2021)**

II.5.9. Le réseau routier :

Le massif contient un réseau routier et des allées, d'une longueur de 54 Km donnant accès à toutes les parties du parc **(Mairif 2014)**. On note :

- La piste qui relie la ville de Theniet El Had et le Rondpoint Forest, sur une longueur totale de 13 kilomètres. 5 Km de cette piste a été goudronné en 2011, allant de la ville de Theniet El Had et dépassant le siège du parc par 800 m. La piste reliant le Rond-Point à la maison forestière d'Ourtène sur une longueur de 11Km,
- La route de Theniet El Had à El Hassania (Wilaya d'Ain Defla) RN 65, d'une longueur totale de 12,5 kilomètres
- La piste reliant la maison forestière d'Ourtène au croisement de Theniet El M'rakeb sur une longueur de 4,5 Km ; a été aménagé au cours de l'été 2013.

- La piste traversant le canton Fersiouane communicant vers le chemin de wilaya n° 05 d'une longueur de 10,5 Km.
- La route allant de la ville de Theniet El Had (CW n° 05) à la maison forestière d'Ain Touilla (accès Sud du Parc) sur une longueur de 5,5 Km.

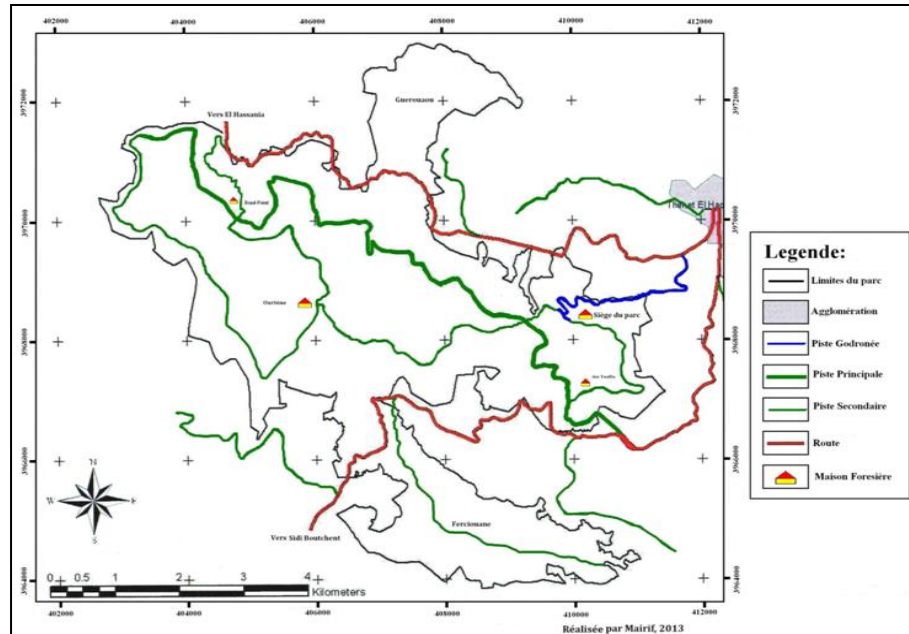


Figure 18 : Carte du réseau routier du parc National de Theniet El Had (Mairif, 2014).

II. 6. Étude climatique de la zone :

La caractérisation du climat est effectuée à partir de mesures statistiques annuelles et mensuelles sur des données atmosphériques locales.

II.6.1. Précipitations :

Les précipitations représentent un élément essentiel dans le fonctionnement des écosystèmes. Le climat de Theniet El Had est de type méditerranéen tempéré, se climat se caractérise par des précipitations généralement faibles et mal réparties dans le temps. Le parc national reçoit en moyenne dans les 800 à 900 mm de pluie par an, la période hivernale est longue et rude, l'été est tempéré (Meziane, 2017).

II.6.1.1. Précipitations annuelles dans la zone d'étude :

Le régime pluviométrique dans la zone de recherche est marqué par une forte variabilité interannuelle, avec une tendance récente à la baisse des cumuls pluviométriques annuels. Par rapport à la période 1913-1938, la pluviométrie moyenne de 1966 à 2021 a été de 485 mm/an, soit une baisse

de 23 % de la pluviométrie totale (moyenne égale à 628 mm). L'écart-type de 163 (CV = 33 %) suggère que les précipitations annuelles ont été très variables tout au long de cette période. Les précipitations totales annuelles les plus élevées ont été enregistrées en 1966 (790 mm), tandis que le total le plus bas a été enregistré en 1983 (390 mm) (132 mm).

Sur cette période, 38 années ont été caractérisées par un déficit pluviométrique (précipitations inférieures à la moyenne). Les années extrêmement sèches sont : 1970, 1983, 1984, 2000 et 2002. En revanche, 18 années étaient humides, les années extrêmement humides sont : 1966, 1976, 1979 et 1980. Ceci montre la tendance à la sécheresse à partir des années 1980, cette tendance s'affirme par le calcul de la moyenne des précipitations annuelles sur la période 1980-2021 qui affiche 455mm, soit une baisse de 28%. L'extrême année sèche était sans doute l'année 1983, année marquée par une sécheresse accrue enregistrée pour l'ensemble du Nord de l'Algérie.

II.6.1.2. Précipitations mensuelles :

On constate tout d'abord qu'une stabilité des précipitations mensuelles entre les mois Janvier et juin (28mm-29mm), ensuite, les chiffres nous montrent une diminution littérale des précipitations du mois de juin au mi-août (29 mm-5mm).

Enfin, on peut voir clairement que les chiffres augmentent constamment de la dernière moitié du moi août jusqu'au mois de décembre (5mm-33mm).

Pour conclure le graphe montre que Le mois de décembre est le plus arrosé, et le mois d'Aout est le moins arrosé pour la période 2010-2019

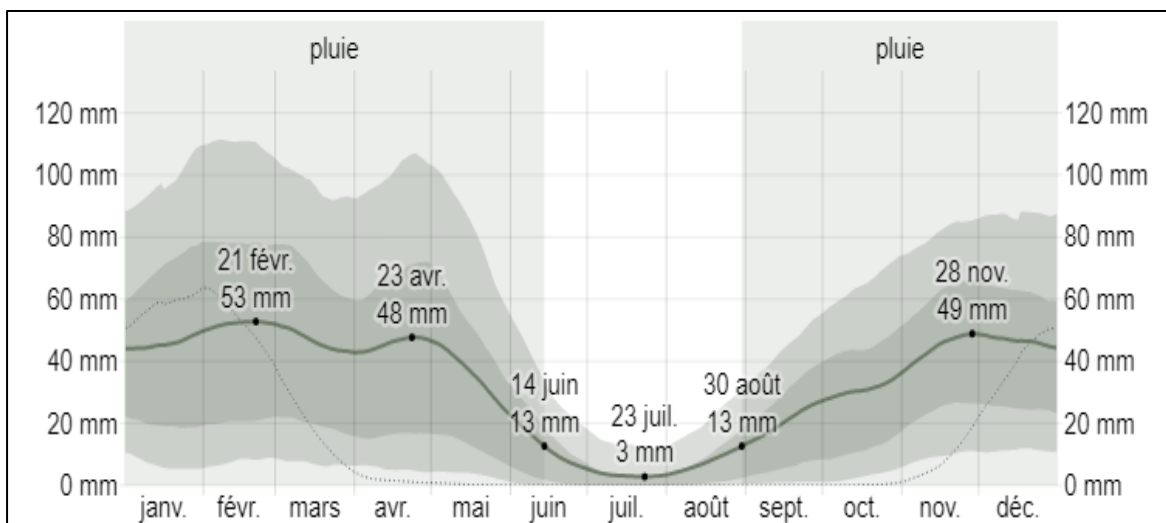


Figure 19 : Pluviométrie mensuelle moyenne à Theniet el Had 1980-2022 (Weather Spark.2022)

II.6.1.3. Précipitations saisonnières :

Un jour de précipitations est défini comme un jour où il y a une accumulation d'eau de 1 millimètre ou mesuré dans l'eau. La probabilité de jours de pluie varie au cours de l'année à Theniet el Had.

Du 14 septembre au 30 mai, la saison la plus humide dure 8,5 mois, avec une probabilité quotidienne de pluie supérieure à 13 %. Le mois avec le plus de jours avec au moins 1 millimètre de précipitations à Theniet el Had est février, avec une moyenne de 6,9 jours avec au moins 1 millimètre.

Du 30 mai au 14 septembre, la saison la plus sèche dure 3,5 mois. À Theniet el Had, juillet compte le moins de jours de précipitations, avec une moyenne de 0,7 jours avec au moins 1 millimètre de pluie

Nous distinguons les jours avec pluie uniquement, neige uniquement ou une combinaison des deux pour les jours avec précipitations. Novembre a le plus grand nombre de jours de pluie à Theniet el Had, avec une moyenne de 6,2 jours. La pluie seule constitue le type de précipitation le plus répandu au cours de l'année, selon cette classification, avec une probabilité maximale de 23 pour cent le 20 novembre

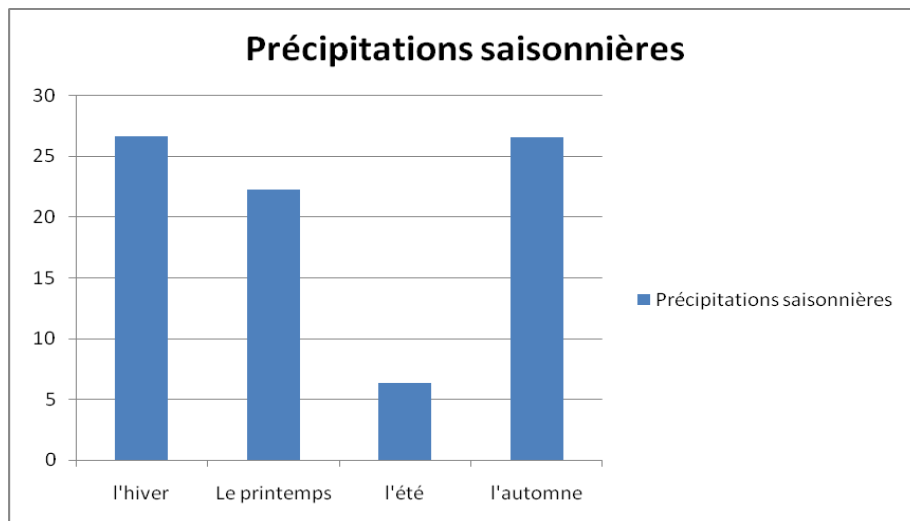


Figure 20 : Précipitations saisonnières à Theniet el Had 1980-2022 (Weather Spark.2022)

La quantité de précipitations qui tombe entre l'hiver et l'automne est la même (26 mm). Pour la période 2010-2019, les précipitations annuelles moyennes au printemps sont de 22 mm, tandis que les précipitations annuelles moyennes en été sont largement de 6 mm

II.6.1.4. Autre forme de Précipitation :

II.6.1.4.a. La neige :

La neige est considérée comme une source importante d'eau, L'effet écologique de la neige est important par son rôle d'écran thermique vis-à-vis du sol et des semis ; la station de Theniet El Had enregistré un nombre de jours d'enneigement égal à 22. Il est à signaler aussi qu'en altitude, la neige persiste jusqu'au printemps et parfois même jusqu'à l'été ce qui retarde l'apparition des germinations. (Seltzer 1946)

II.6.1.4.b. Les Orages :

D'après le tableau N°I relative à ce facteur, on note que l'orage est peu fréquent pendant la période estivale, cependant il est très rare pendant l'hiver.

Si en comparant le nombre de jours de pluie représentent dans le tableau N°I, nous trouvons que les pluies estivales tombent sous forme d'orages. (Seltzer 1946)

Tableau 2 : Nombre moyen de jours d'orage enregistrés dans la station Theniet El-Had

Mois	J	F	M	A	M	Jo	Ju	Ao	S	Oc	N	D	An
Nbr de jour d'orage	0.2	0.4	0.4	1.7	3.6	3.7	2.9	3.0	2.6	1.2	0.5	0.0	20.2

Source : Seltzer (1946)

II.6.1.4.c. La grêle :

La grêle est un phénomène néfaste surtout en période de germination et de floraison. Les données de Seltzer (1946) montrent que le nombre de jours de grêle est faible durant toute l'année. Le maximum est enregistré pendant la période hivernale ;(janvier, février, mars). Pendant l'été, on enregistre une diminution de sa fréquence, ce dernier est de vue selon Seltzer (1946) à la température élevée

Tableau 3 : Nombre moyen de jours de grêle dans la station de Theniet El-Had (1913-1934)

Mois	J	F	M	A	M	JO	JU	AO	S	OC	N	D	An
Nbr de Jour de Grêle	0.9	0.8	1.1	0.7	0.5	0.3	0.1	0.4	0.4	0.2	0.5	0.3	6.2

Source : Seltzer (1946)

II.6.1.4.d. Les gelées :

Les gelées jouent un rôle important dans la désarticulation des cônes de cèdre la germination des graines (par la levée de dormance) et par conséquent dans la régénération. **(Toth, 1978)**

II.6.2. Humidité :

L'humidité relative est faible au milieu de la journée alors qu'elle diminue très légèrement pendant le soir par rapport à la matinée

Quant à l'humidité absolue qui nous renseigne sur la quantité d'eau que renferme l'atmosphère, elle est faible pendant les mois d'hiver, cependant elle atteint le maximum au cours de l'été. **(Seltzer 1946).**

Tableau 4 : Humidité absolue et relative du Parc National de Theniet El-Had.

Mois	7 heures			13 heures			18 heures		
	T	F	H	T	F	H	T	F	H
Janvier	2.8	4.9	86	6.7	5.5	75	4.6	5.3	82
Février	3.9	4.7	78	8.3	5.4	64	6.0	5.3	75
Mars	5.4	5.4	79	10.5	5.9	62	8.2	5.9	72
Avril	8.3	4.7	69	14.9	6.5	51	12.0	6.5	62
Mai	12.9	7.2	65	19.5	8.2	48	16.4	8.1	58
Juin	16.8	9.2	64	24.0	10.3	46	20.3	10.4	58
Année	11.1	7.3	72	17.3	8.3	86	14.0	8.1	67

T : Température (°C) -F : Humidité absolue - H : Humidité relative

Source: Seltzer (1946)

II.6.3. Ensoleillement:

Au parc national de Theniet el Had, par rapport au côté nord, le côté sud est très ensoleillé. De plus, en fonction de l'existence d'environnements lumineux différents (forêts fermées, clairières, terrains accidentés...) diverses conditions favorables sont prévues pour différents types d'espèces. **(Khedim .2019)**

II.6.4. Température :

La température est l'un des aspects les plus importants du climat, car elle a un impact direct sur les processus biologiques et chimiques de la biosphère, ainsi que sur l'activité de tous les êtres vivants.

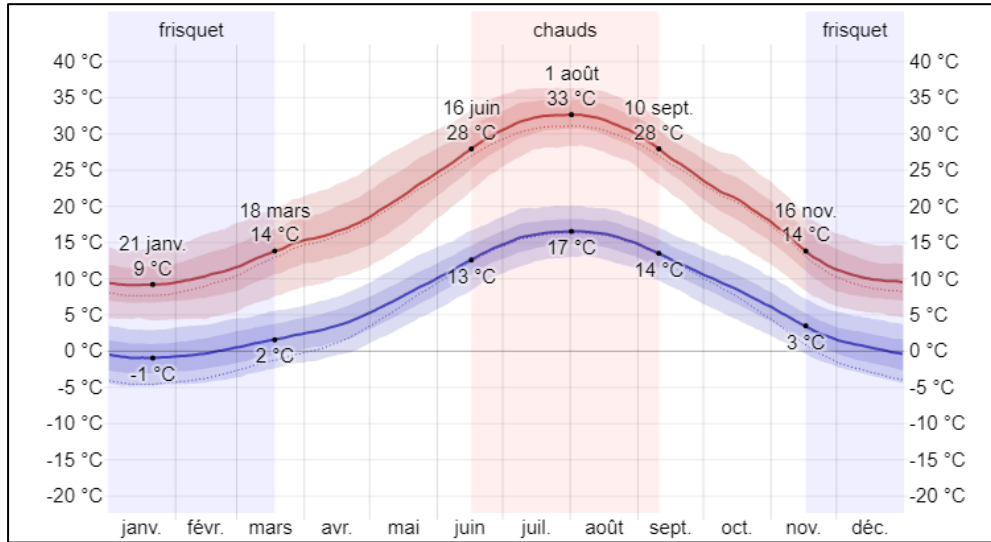


Figure 21 : Température moyenne maximale et minimale à Theniet el Had (1980-2022) (Weather Spark 2022)

Du 16 juin au 10 septembre, la saison chaude dure 2,8 mois, avec une température maximale moyenne journalière supérieure à 28°C. Juillet est le mois le plus chaud à Theniet el Had, avec des maximales moyennes de 32°C et des minimales de 16°C.

Du 16 novembre au 18 mars, la saison froide dure 4,0 mois, avec une température quotidienne moyenne maximale inférieure à 11 °C. Janvier est le mois le plus froid à Theniet el Had, avec une température basse moyenne de -1°C et une température élevée de 9°C.

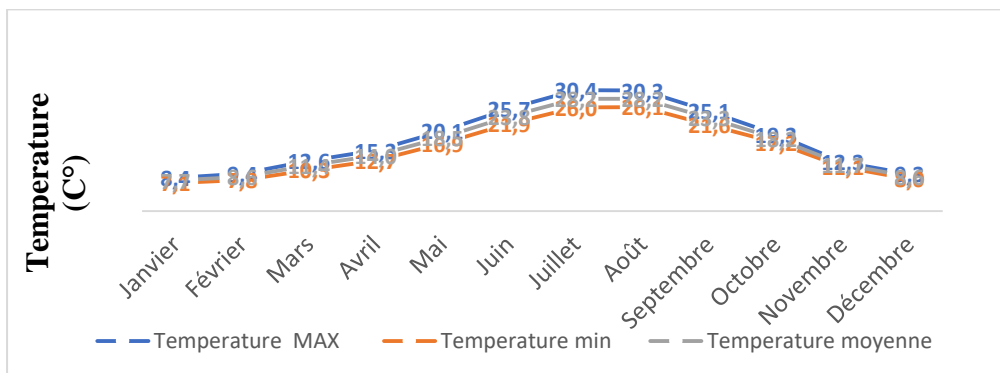


Figure 22 : Température mensuelles du Parc National de Theniet El Had (Weather Spark,2022)

II.6.5. Vent :

Les vents est un élément caractéristique du climat, il peut être déterminé par sa direction et sa force. Ça dominance dans la station de Theniet-El-Had sont ceux du nord-ouest et nord respectivement avec une fréquence moyenne de 28 et 17. Les fréquences des directions sud-est, sud-ouest du vent au sol présentent des valeurs identiques égales à 11, cependant on enregistre une très faible fréquence à la direction Est (Seltzer, 1946).

II.7. Caractéristiques biologiques :

Englobe les différents aspects de la zoo-cénose et la phyto-cénose

II.7.1. La faune :

Le parc national présente un milieu très favorable pour le développement d'une richesse faunistique très varié.

La faune reptile du parc a été dénombrée est riche de 18 espèces rencontrées à majorité non redoutables dont 09 protégées.

Parmi les amphibiens du parc qui ont été recensé, 07 espèces dont 01 protégée (*Trituruspoireti*) les autres : la rainette verte (*Hyla meridionalis*), le crapaud commun (*Bufo mauritanicus*), la grenouille verte (*Rana saharica*), le discoglosse peint (*Discoglossuspictus*) rencontrés dans les mares, la retenue et les étangs

La liste de la faune mammifère du parc contient 24 taxons. La plupart sont déterminés au niveau de l'espèce. Dont treize (13) sont protégées.

Suite à une exploration écologique par l'ornithologue Mr. OCHANDO.B au niveau du parc national En 1987, 95 espèces d'oiseaux ont été répertoriées, dont 29 étaient protégées, et 60% d'entre elles étaient des nicheurs, ce qui indique la diversité de l'habitat fourni par le parc. La réserve de Theniet El Had abrite actuellement 107 espèces dont 37 protégées, il est une étape migratoire qui fait migrer les oiseaux de l'hiver en Afrique australe vers les aires de reproduction en Europe. Les travaux sur les oiseaux nicheurs en cédraie étant rares en Algérie, il serait intéressant de les approfondir.) (Khemache et al, 2013)

II.7.2. La flore :

La flore du parc national de Theniet el Had à une distribution verticale, cette dernière est composée par trois strates :

II.7.2.1. La strate arborescente :

Les arbres adultes appartiennent à la strate arborescente ou arborée où l'on distingue alors clairement le tronc du houppier. La strate arborescente du parc présente quatre principales essences forestières :

- Cèdre de l'Atlas *Cedrus atlantica* - Chêne liège *Quercus suber*
- Chêne vert *Quercus ilex* - Chêne zéen *Quercus faginea*
- Pin d'Alep *Pinus halipensis* - Pistachier de l'Atlas *Pistachia atlantica*

II.7.2.2. La strate arbustive :

Elle comprend soit les végétaux ligneux qui ne dépassent guère cette hauteur (houx, viomes, comouillères fusain d'Europe, poirier sauvage, buis, etc.) Soit les jeunes arbres.

Une diversité d'espèce se trouve en mélange dans la strate arbustive. Les principales espèces représentées au versant nord sont : *Rubus ulmifolius*, *Rosa sempervirens*, *Crataegus monogyna*, *Quercus ilex l*, *Crataegus monogyna* et *Rosa canina*.

Au versant sud, en plus des espèces précitées on rencontre le genévrier oxycèdre (*Juniperus oxycedrus l*), essence subordonnée se rencontre par pied très clairsemée à travers la cédraie dans la partie inférieure des versants (**Abdelhamid, 1992, Zedek, 1993**).

II.7.2.3. La strate herbacée :

La strate herbacée pour la Cédraie, en exposition nord est riche en espèces, dont principalement : *Géranium atlanticum*, *Viola munbyana*, *Vicia sicula*, *Alliaria officinalis*, *Hedera helix* et *Cynosorus elegans*. A l'exposition Sud, on remarque la prédominance de : *Lonicera etrusca*, *Lonicera implexa*, *Silene fuscata*, *Asphodelus microcarpus* même que *Ferula communis*, et *Bromus madriensis* (**Belkaid, 1988**).

Pour la subéraie, les principales espèces de la strate herbacée sont représentées par : *Lavandula stoechas*, *Cistus monspeliensis*, *Phlomis bovei*, *Ampelodesmum mauritanica* et *Daphne gnidium* (**Abdelhamid, 1992**).

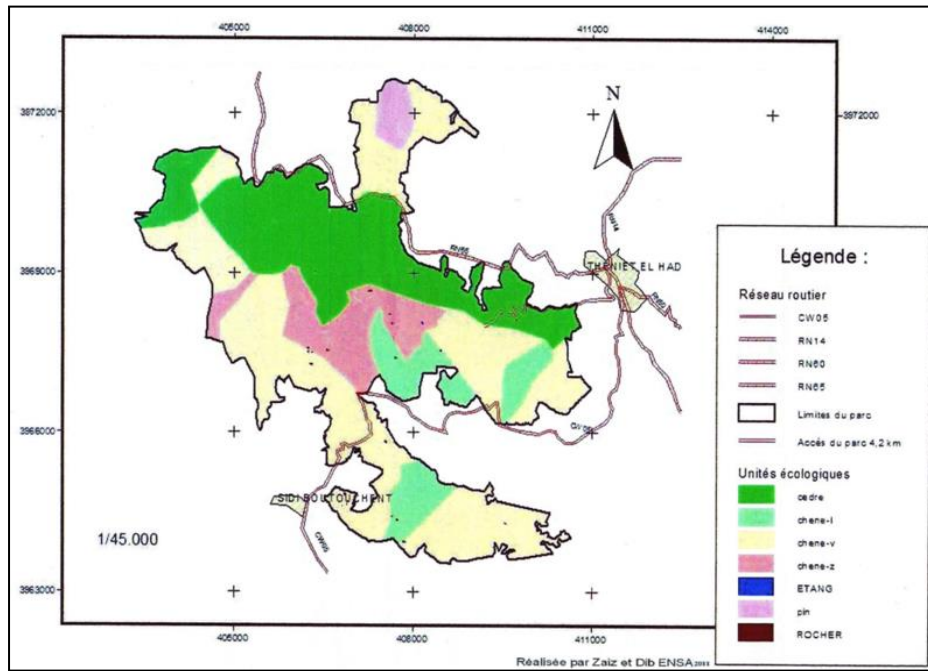


Figure 23 : Carte de végétation du parc National de Theniet El Had (Zaiz et Dib, 2011)

CHAPITRE III :

Matériels et Méthodes

Chapitre III : MATERIELS ET METHODES

III.1. Introduction

L'utilisation du modèle universel de perte de sol dans la région de recherche nécessite le calcul des différentes composantes de l'équation universelle sur l'ensemble de la zone à l'aide de cartes thématiques (agressivité climatique R, érodibilité du sol K, inclinaison et longueur de pente LS, couverture végétale C et pratiques antiérosives P). L'intégration de ces cartes dans le système d'information géographique SIG permet de les superposer et de calculer le taux d'érosion selon la méthode de **Wischmeier et Smith (1978)**.

III.2 Les données utilisées

Initialement, la méthode consistait à identifier les éléments qui causent l'érosion et à les spatialiser en utilisant :

- Un modèle numérique de DTM ASTER GDEM Terrain d'une résolution de 30 m acquis gratuitement à <https://earthexplorer.usgs.gov/> : entrée principale pour le calcul des degrés et de la longueur de pente (facteur LS).

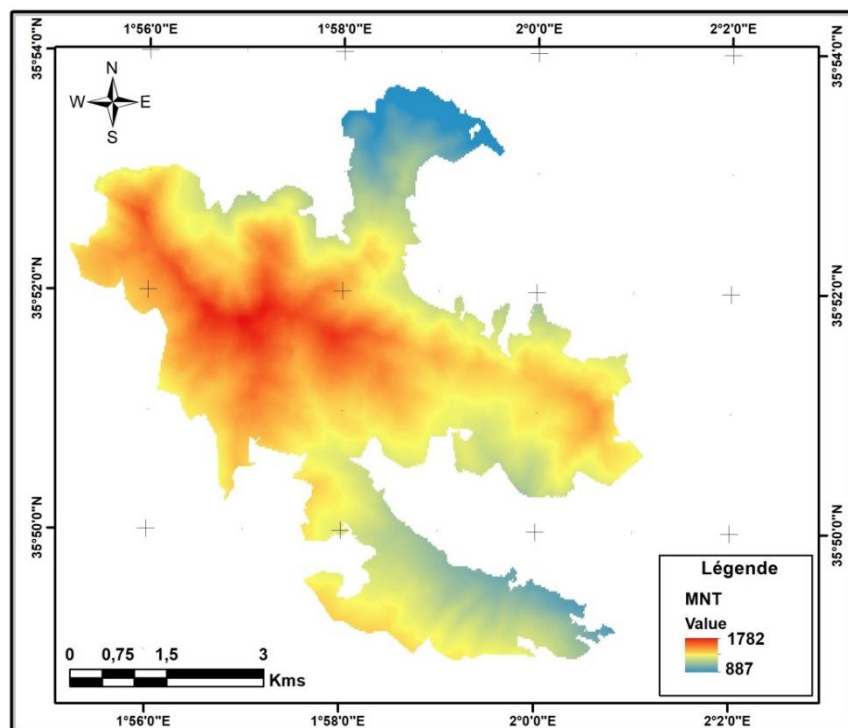


Figure 24 : image satellitaire (MNT) du parc

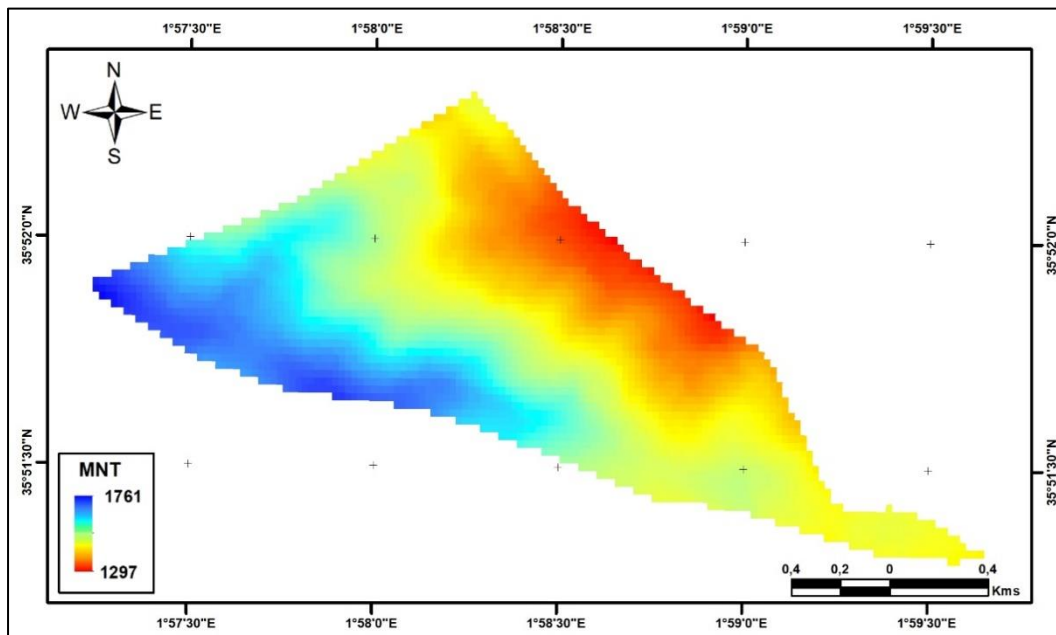


Figure 25 : image satellitaire (MNT) du canton pré-Benchohra

- ✓ Une carte des sols au format vectoriel de la région de recherche produite par le Parc de Theniet El Had utilisée comme entrée majeure pour le calcul du facteur d'érodibilité du sol K.
- ✓ Une image satellite Landsat-OLI 8 : entrée clé pour le calcul de l'indice de couverture végétale NDVI, ainsi que la composante dimensionnelle du couvert végétal et des méthodes agricoles (facteur C) (tableau 5).

Tableau 5 : les données de l'image satellitaire Landsat-OLI 8

Orbite /rang	Date d'acquisition	Heures d'acquisition	Capteur
196/35	17-05-2021	10 h 25'	OLI

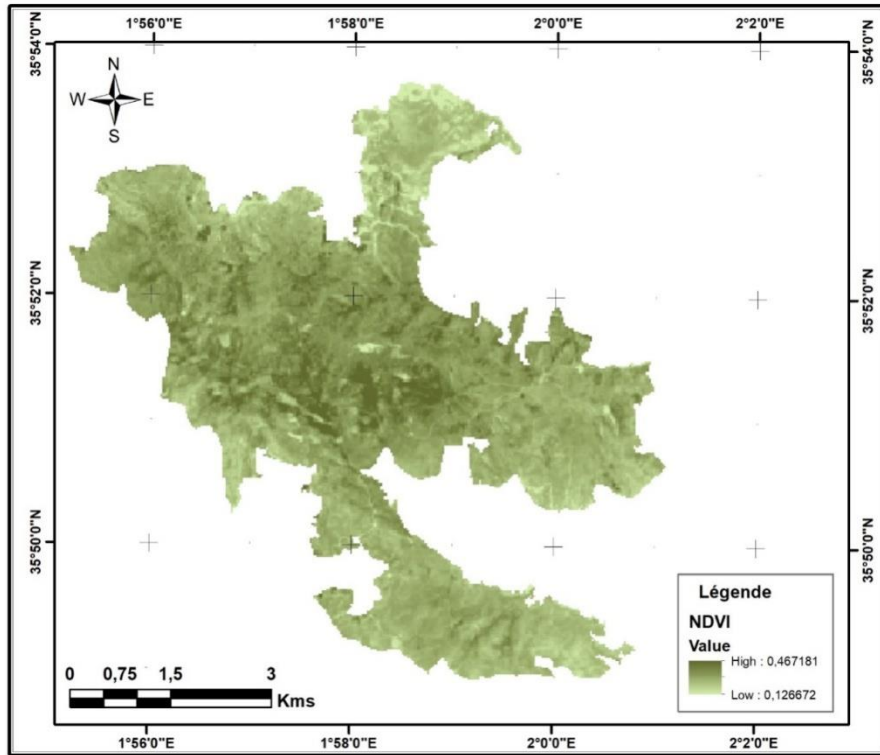


Figure 26 : Carte du NDVI du parc de Theniet El Had issu de l'image satellite

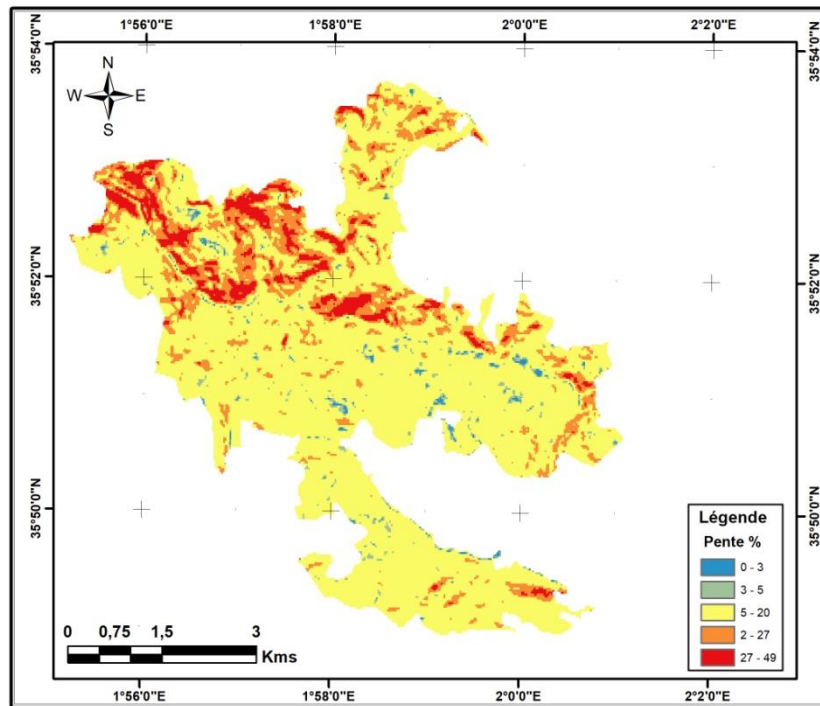


Figure 27 : Carte des pentes du parc de Theniet El Had

- Précipitations moyennes, mensuelles et annuelles (2000-2021) : ces données climatiques ont été recueillies auprès des stations climatiques voisines et ont été utilisées comme entrées principales pour le calcul des indices d'érosivité des pluies (le facteur R) (tableau 6).

Tableau 6 : les données climatiques de différentes stations pluviométriques.

Station	Nom	Code	X (longitude) en dd	Y (Latitude) en dd	Z (Altitude) en m	Périodes D'observation
1	Chlef	604250	1.33	36.21	143	20 ans
2	Djelfa	605350	3.25	34.33	1144	20 ans
3	Ksar chellala	605140	2.31	35.16	801	20 ans
4	Médéa	604370	2.75	36.28	1036	20 ans
5	Meliana	604300	2.23	36.3	721	20 ans
6	Relizane	604920	0.55	35.73	75	20 ans
7	Tiaret	605110	1.43	35.35	1127	20 ans

III.3 Logiciels et matériels utilisé

Dans notre étude, nous avons traité les données issues de différentes Sources, grâce à des logiciels divers, à savoir :

III.3.1. Traitement des données pluviométriques :

Afin de traiter les données pluviométriques brutes, nous avons utilisés le logiciel « **EXCEL** » (sous Windows), ce type de logiciels est utilisé dans toutes les opérations mathématiques et statistiques.

III.3.2. QGIS

La cartographie perte des sols est l'une des étapes les plus importantes pour aider à évaluer le couvert forestier et à connaître son orientation de développement. Dans le cadre du programme QGIS, cette étape nécessite un ensemble d'étapes de base, comme suit : scannérisation, numérisation de la carte topographique, jusqu'au modèle numérique de terrain (**Hadjadj, 2011**).

À l'aide du Modèle Numérique de Terrain (MNT), il est possible de réaliser des analyses de visibilité, l'analyse des pentes, l'analyse d'orientation des surfaces, la détermination des bassins versant et le réseau hydrographique du milieu étudié. Ainsi, plusieurs cartes de dérivation constituant des outils d'aide à l'analyse peuvent être créées (**Hadjadj, 2011**).

III.3.3. ENVI (Environment for Visualizing Images)

ENVI (Environment for Visualizing Images) est un logiciel professionnel de la société « EXELIS » permettant la visualisation, le traitement, l'analyse, et la présentation de nombreux types d'images numériques, dont les images satellites.

ENVI permet en particulier, de travailler sur différents types de données (multi spectrale, hyper spectrale, radar), d'intégrer des données de type matriciel (image) et vectoriel et est compatible avec des données de type SIG. Il permet entre autres de contraster les images, de les corriger géométriquement, de les classifier, de réaliser des analyses à l'aide de données d'élévations, etc. Il utilise le langage de programmation IDL (Interactive Data Language) (**DENIS, 2014**).

III.3.4 Le GPS (Global Position Système) :

Le Système de Positionnement Global (GPS) un système de radionavigation américain basé sur une constellation de satellites élaborés en 1970 et contrôlés par le département de la défense des Etats-Unis. Utilisable librement par toute personne munie d'un récepteur GPS, il informe sur la position, le temps et la vitesse sur une large étendue mondiale quelques soient les conditions météorologiques ou le moment de la journée (jour et nuit). (**GUERINIAI. A ; 2012**)

III.4 Méthodologie :

Afin de choisir un modèle pour spatialiser et quantifier l'érosion adéquat, nous devons savoir quels sont les principaux modèles utilisés dans cette thématique afin de faire le choix judicieux.

III.4.1 Les principaux modèles hydrologique :

Les hypothèses de fonctionnement hydrologique, la procédure de segmentation du bassin versant, le mode de représentation des liens entre les pentes et le réseau hydrographique, le mode de représentation des processus hydrologiques et les stratégies de paramétrage, d'étalonnage et de validation sont les principales différences entre les modèles.

• **Le modèle STREAM** est une simulation très précise du ruissellement et de l'érosion dans de petits bassins versants (10 à 1 000 ha). Il s'appuie sur une base de données qualitative (connaissances expertes) réputée précise pour des échelles de temps et d'espace spécifiques. Le modèle considère que les principaux facteurs de ruissellement et d'infiltration à l'échelle de la parcelle sont le faciès de surface du sol, la rugosité, la couverture du sol (cultures et résidus) et l'humidité du sol (**Cerdan et al. 2002**).

• **Universal Soil Loss Equation (USLE) (Wischmeier et Smith, 1978)** L'équation universelle de perte de sol est utilisée pour calculer la quantité de sol perdue en raison de l'érosion des eaux souterraines. L'agressivité climatique, l'érodibilité du sol, l'inclinaison et la longueur des pentes, l'utilisation des terres et les méthodes anti-érosion sont tous des facteurs multiplicatifs qui régulent l'érosion hydrique. Malgré les critiques pour l'utilisation de l'USLE dans des situations autres que celles pour lesquelles il a été conçu, la technique de modélisation factorielle de l'USLE semble être un outil viable pour analyser l'érosion hydrique du sol dans la réalité. De plus, un module du modèle **RUSLE**, Revised USLE, a été ajouté au modèle pour tenir compte du dépôt (**Renard et al. 1997**). L'équation universelle de perte de sol ou certains de ses composants sont utilisés pour quantifier l'érosion des sols dans plusieurs modèles qui représentent une contamination diffuse.

III.4.2. Choix d'un modèle pour l'étude :

En conséquence, il existe plusieurs modèles hydrologiques. Les modèles mécanistes visent à comprendre le fonctionnement du système, mais ils minimisent la complexité de l'environnement en donnant la priorité à certains processus par rapport à d'autres ou en ajoutant de nouvelles notions. En outre, la majorité des modèles ont été créés pour atteindre un objectif spécifique : **HYDROTEL** a été créé pour gérer les ressources en eau dans les bassins versants de taille moyenne (quelques centaines de km²), **SWAT** a été créé pour transférer les polluants et **MHYDAS** a été créé pour prendre en compte les caractéristiques uniques de l'environnement agricole.

Compte tenu de tous ces facteurs, le modèle USLE est le meilleur choix pour estimer l'apport sédimentaire dans notre cas, car c'est une approche prometteuse pour sa simplicité et le nombre

d'informations de terrain réduit là ou sont rares ou difficiles à collecter contrairement aux autres modèles complexes et demandant plusieurs données In situ en Input parfois difficile à collectés.

III.4.3. Définition d'USLE :

Le modèle le plus utilisé pour la quantification des pertes en sols est le modèle USLE avec sa version révisée RUSLE grâce à la facilité de son application et à sa compatibilité avec les systèmes d'information géographiques (**Bonilla et al. 2010**). Le modèle RUSLE a été largement utilisé aussi bien dans les milieux agricoles que forestiers pour la prédiction et la distribution spatiale de la moyenne annuelle des pertes en sols en intégrant les différents facteurs d'érosion (**Wischmeier and Smith, 1978 ; Renard et al. 1997**). L'équation s'exprime par la relation :

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

Où :

A = taux de perte en sol (t/ha/an),

R = érosivité des pluies (MJ.mm/ ha.h.an),

K = érodibilité du sol (t.h/ha. MJ.mm),

LS = facteur topographique (L en m, S en %),

C = facteur de couverture végétale,

P = facteur des pratiques agricoles.

III.11.3 Détermination des paramètres du modèle d'USEL :

Pour mieux comprendre l'impact de l'érosion hydrique, nous avons choisi d'employer une approche descriptive, qui consiste à décrire et à évaluer qualitativement le processus d'érosion.

III.11.3.1 Facteur d'érosivité des pluies (R) :

L'érosivité est la capacité potentielle de la pluie à produire l'érosion (**Hudson, 1981**). C'est le produit de l'énergie cinétique des pluies et de l'intensité maximale des pluies durant 30 minutes (**Wischmeier and Smith, 1978**).

Elle peut aussi être considérée comme l'indice moyen annuel d'érosion par la pluie. Du fait que les données d'énergie cinétique et d'intensité des pluies sont difficiles à obtenir, des formules alternatives ne nécessitant que des données mensuelles et annuelles pour la détermination du facteur R ont été développées (**Rango and Arnoldus, 1987**).

Pour estimer ce facteur, nous avons appliqué la formule de Rango et Arnoldus (**Rango and Arnoldus, 1987**). L'interpolation spatiale du facteur R a été effectuée par krigeage en utilisant l'outil de géo - spatialisation d'ArcGIS.

$$\text{Log R} = 1,74 * \text{Log} \sum (\text{Pi}^2/\text{P}) + 1,29$$

Où :

Pi : précipitations mensuelles

P : précipitations annuelles en mm

III.11.3.2 Facteur érodibilité des sols (K)

Facteur d'érodibilité des sols (K) Le facteur d'érodibilité (K) des sols exprime la cohésion et la résistance du sol vis-à-vis de l'érosion. Il est fonction de la texture du sol, de sa structure, de son taux de matière organique et de sa perméabilité. Les expérimentations sur différents types de sols ont permis de développer statistiquement une équation pour le calcul de ce facteur (**Wischmeier and Smith, 1978**) :

$$K = 1/100 * [2,1 * M^{1,14} * 10^{-4} (12 - A) + 3,25 (B - 2) + 2,5 (C - 3)]$$

Où :

M = (% sable fin + % limon) * (100 - % argile)

A = pourcentage de matière organique B = code de la perméabilité

C = code de la structure

A défaut de la disponibilité d'une carte pédologique de la zone d'étude, nous avons utilisé la carte des substrats géologiques et celle de l'occupation du sol pour identifier des unités homogènes. Des prélèvements de sols ont été ensuite effectués dans ces unités (17 prélèvements) et analysés au laboratoire pour la détermination du facteur d'érodibilité K.

III.11.3.3 Facteur topographique (LS) :

Le modèle RUSLE prend en compte la longueur et l'inclinaison des pentes qui affectent la production et le transport de sédiments dans un site. D'autres facteurs tels que la compaction et les perturbations du sol sont aussi considérés dans la génération du facteur LS (**Prasannakumar et al. 2012**). L'érosion augmente avec l'inclinaison de la pente mais, contrairement au facteur L qui exprime l'effet de la longueur de la pente, le modèle USLE ne fait aucune différence entre l'érosion en nappe et l'érosion linéaire dans le facteur S qui exprime l'effet de l'inclinaison de la pente sur l'érosion des sols (**Krishna Bahadur, 2009**).

Le facteur LS a été calculé par l'outil de facteur LS (LS-TOOL) développé par Zhang et al (Zhang et al, 2013). La méthodologie de calcul du facteur LS est appliquée à chaque pixel du modèle numérique d'altitude. Le calcul du facteur L est basé sur l'équation développée par Desmet et Govers (Desmet and Govers, 1996). Le calcul du facteur S est basé sur l'équation développée par Wischmeier et Smith (Wischmeier and Smith, 1978) et modifiée dans le modèle USLE pour une meilleure représentation du degré d'inclinaison des pentes (McCool et al. 1987). Dans le souci de la précision du facteur LS qui dépend de la résolution du MNT (Panagos et al. 2015), un MNT de résolution 10 m a été utilisé pour le calcul du facteur LS.

L'équation s'écrit :

$$Ls = \left(\frac{L}{22.13} \right)^{0.4} \times \left(\frac{\sin(s)}{0.0896} \right)^{1.3}$$

Où :

L : est la longueur de la pente en mètres (m).

S : est l'inclinaison de la pente en degrés (°).

III.11.3.4 Facteur de couverture végétale (C) :

Un sol bien protégé par une couverture végétale réduit considérablement l'effet des facteurs d'agressivité climatique, d'érodibilité du sol, de l'inclinaison du degré de la pente, quel que soit leur importance. En ce sens, un sol bien couvert réduit le ruissellement en facilitant l'infiltration et empêchant le déclenchement de l'érosion. Le facteur C compare les pertes en sol liées à une terre bien couverte par une végétation naturelle dense, celles liées à une terre nue sans aucun couvert végétal et celles soumises à une gestion spécifique (Wischmeier and Smith, 1978).

Il varie de 0,001 sous forêt dense à 1 sur un sol nu. Les données de télédétection sont utilisées pour le calcul du facteur C (Karydas et al. 2009 ; Tian et al. 2009). La formule utilisée pour la détermination du facteur C (Kouli et al. 2009) en utilisant l'indice de végétation normalisé NDVI renseignant sur le couvert végétal et sa santé (Jensen, 2000) est :

$$C = \exp [-(\alpha \text{NDVI} / (\beta - \text{NDVI}))]$$

Où α et β sont des paramètres sans unités qui déterminent la forme de la courbe reliant le NDVI au facteur C. Ces auteurs ont attribué les valeurs 2 et 1 respectivement à α et β . Cette équation

est plus précise qu'une relation linéaire (Van der Knijff et al. 2000) et a été utilisée avec succès dans les mêmes conditions pédologiques et climatiques (Markhi et al. 2015).

III.11.3.5 Facteur des pratiques de conservation du sol (P)

Facteur pratiques antiérosives P Les pratiques culturales comme le labour selon les courbes de niveau, cultures en bandes alternées ou en terrasses, le billonnage etc., sont des pratiques efficaces de conservation des sols. Les valeurs de P ont été estimées en fonction de la pente (Shin, 1999).

Tableau 7 : Valeur du facteur lié aux pratiques antiérosives en fonction de la pente

PENTE %	Valeur de P
0.0-7.0	0.55
7.0-11.3	0.60
11.3-17.6	0.80
-26.8	0.90
> 26.8	1.00

(Shin, 1999)

Dans le modèle USLE, l'érosion potentielle est donc le résultat du produit de quatre facteurs : le climat, la nature du sol, la topographie, l'occupation du sol et les pratiques de conservation des sols.

Les équations permettant de calculer les différents facteurs ont été calibrés pour intégrer la contribution de chacun d'entre eux dans le phénomène érosif. Cependant, la mise en œuvre de l'USLE nécessite des ajustements propres à la zone d'étude.

Après avoir situé la zone d'étude, représentative des pressions exercées en Nouvelle-Calédonie (notamment les enjeux économiques et environnementaux), nous verrons la mise en œuvre de l'USLE. Pour cela, nous calculerons chaque facteur en explicitant les choix méthodologiques. Puis, nous élaborerons des cartes de répartition de ces facteurs sur la zone d'étude. Enfin, le croisement de ces cartes nous permettra d'obtenir une spatialisation et une quantification de l'érosion potentielle.

CHAPITRE IV :

RESULTATS ET DISCUSSION

Chapitre IV :

RESULTATS ET DISCUSSION

IV.1. Introduction :

L'érosion hydrique est un phénomène compliqué qui est généralement produit par la pluie et le ruissellement qui ne peuvent plus s'infiltrer dans le sol.

L'érosion est un phénomène qui se produit lorsque des éléments à la surface du sol sont déplacés par l'eau, le vent, l'homme ou simplement la gravité (**Girard et al. 2005**).

C'est un phénomène naturel défini par des processus de détachement de particules du sol par les précipitations et le ruissellement, le mouvement par les eaux de surface de ruissellement et le dépôt le long du trajet suivi par les eaux superficielles sur les versants et dans les cours d'eau (**Foster et Meyer, 1972**).

L'énergie cinétique de la pluie, qui comprend à la fois la hauteur et l'intensité des précipitations pour une durée donnée, est la cause fondamentale des processus d'érosion.

(**Roose, 1973**). Alors que le ruissellement transporte les particules déracinées, il transporte également le sol dégradé vers les drains et les fossés agricoles, ce qui affecte la qualité de l'eau car les particules de sol en suspension améliorent la turbidité.

L'érosion des sols peut également être induite par l'intensification de l'utilisation des terres, du travail du sol, des structures des bâtiments, du surpâturage, de l'utilisation des terres et de la déforestation, en plus de la pluie et du vent (**Roose et al. 1993**).

Concrètement, l'érosion des sols met en péril la sécurité alimentaire et la production. La subsistance du sol, le stockage des eaux de surface, la qualité des eaux de surface, l'attractivité du paysage et l'équilibre biologique naturel sont tous des facteurs importants. La réponse est d'ajuster les techniques de conservation (**Toumi, 2013**).

IV.2. Le modèle USLE utilisé dans l'évaluation de l'érosion hydrique :

Le modèle USLE est construit sur une fonction linéaire qui intègre la combinaison spatiale des nombreux composants qui contribuent à l'érosion des sols : C, P, LS, R et K. Le mode image, ou raster, est particulièrement bien adapté à l'analyse multifactorielle et à la représentation de données continues (**Collet, 1992**), telles que le type de sol, l'utilisation des terres, etc. En effet, lors de l'utilisation de modèles analytiques, le mode raster est fréquemment utilisé pour vérifier que toutes les couches de données ont les mêmes qualités géométriques. Un format de données de base

et la forme régulière de la grille facilitent l'analyse spatiale et la modélisation (**Donnay et Binard, 1991**).

De même, parce que tous les nombres sont amenés à la même unité fondamentale, le pixel, parcourant les données en couches est plus facile. Pour créer une nouvelle valeur dans la couche composite, les couches sont combinées à l'aide de règles arithmétiques et d'opérateurs booléens.

Selon le modèle USLE, l'érosion est une fonction multiplicative qui divise l'érosivité des précipitations (facteur R) par la résistance environnementale (facteur R) (facteurs C, K, LS, P). Chaque facteur est une représentation numérique d'un seul facteur qui influence la gravité de l'érosion du sol à un endroit spécifique.

Cinq facteurs servent à calculer les pertes en sol (A) : la topographie (LS), l'agressivité des précipitations (R), l'érodibilité du sol (K), le couvert végétal (C), les pratiques antiérosives (P), dont l'équation se présente sous la forme :

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

Où

A : est la perte annuelle de sol exprimée en t/ha.an

R : est le facteur d'érosivité des pluies exprimées en MJ.mm/ha.h.an,

K : est le facteur d'érodibilité des sols exprimés en t. ha.h/ha.MJ.mm,

L : est la longueur de pente (m),

S : est l'inclinaison de pente (%),

C : est le facteur adimensionnel de la couverture végétale et des pratiques culturales, et

P : est le facteur adimensionnel relié aux pratiques de conservation des sols.

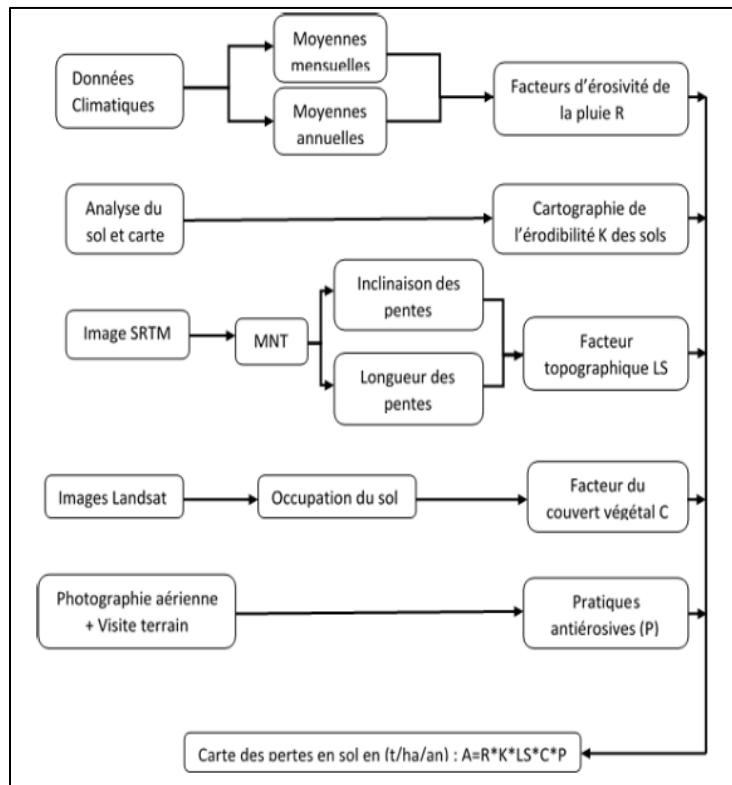


Figure 28 : Organigramme méthodologique du modèle RUSLE appliqué

IV.4. Application de la méthode USEL :

Le modèle USLE a été utilisé pour estimer les pertes de sol dans le canton pré-Benchohra. Dans un environnement SIG, les nombreux facteurs du modèle ont été estimés et spatialisés. La carte des risques d'érosion pour le canton a été créée en combinant plusieurs critères différents.

IV.4.1. Facteur K (Erodibilité des sols) :

L'érodibilité du sol La résilience d'un sol à l'érosion se mesure en K. Le facteur K est calculé à l'aide de paramètres du sol tels que la texture, la teneur en matière organique, la perméabilité et la profondeur. Il existe trois types de sols dans le domaine de recherche : les marnes et argiles, les croûtes et crustacées calcaires et les alluvions.

La carte des sols créée par le Parc de Theniet El Had nous a permis de créer une carte de texture, ce qui nous a permis de calculer le facteur K à l'aide de codes de perméabilité basés sur la classification des textures (**Ontario Centre for Soil Resource Evaluation, 1993**) et le tableau de correspondance (**Stone et Hilborn .2000**), ce qui nous permet de déduire les valeurs d'érodibilité des sols à partir de la texture.

Ces valeurs sont données en tonne/acres (Système US), et nécessitent d’être converties dans le système international par la multiplication de K par un facteur correctif de 0,1317.

Tableau 8 : Variation de l'érodibilité du sol (K) en fonction du type de sol (Stone et Hilborn, 2000).

Classe texturale	Facteur K (tonne/acres)	Facteur K (t.ha.h/ha.MJ.mm)
Argile	0.22	0.02897
Loam argileux	0.3	0.03951
Loam sableux gossier	0.07	0.00922
Sable fin	0.08	0.01054
Loam sableux fin	0.18	0.02371
Argile lourde	0.17	0.02239
Loam	0.3	0.03951
Sable fin loameux	0.11	0.01449
Sable loameux	0.04	0.00527
Sable très fin loameux	0.39	0.05136
Sable	0.02	0.00263
Terre franche argileuse	0.2	0.02634
Loam sableux	0.13	0.01712
Loam limoneux	0.38	0.05005
Argile limoneuse	0.26	0.03424
Loam limono-argileux	0.32	0.04214
Sable très fin	0.43	0.05663
Loam sableux très fin	0.35	0.04610

Stone et Hilborn, 2000

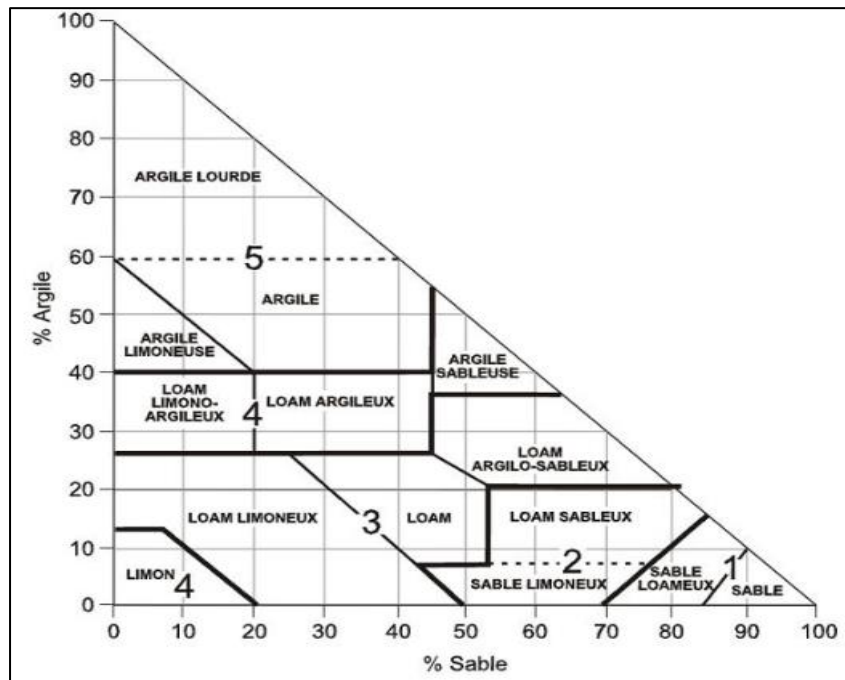


Figure 29 : Codes de perméabilité basée sur la classification des textures (OC FSRE, 1993)

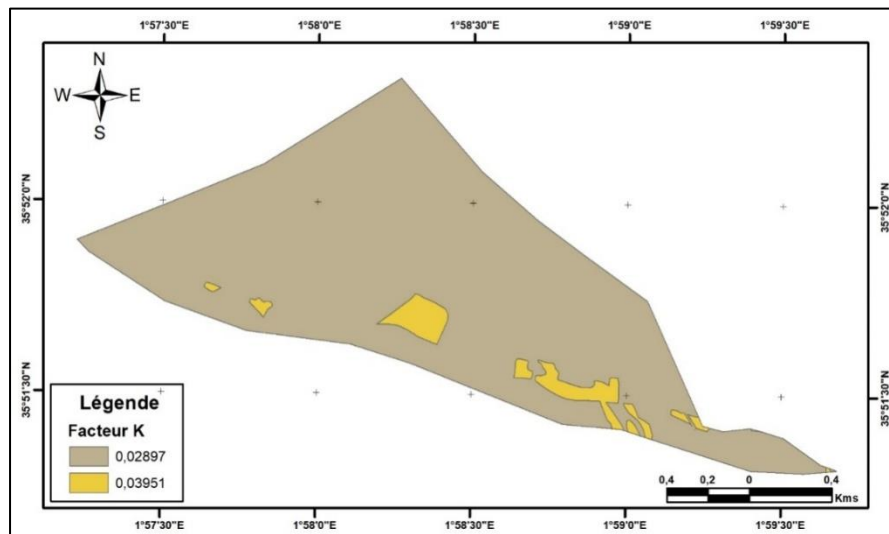


Figure30 : Carte du facteur K. canton pré-Benchohra

Les valeurs de K correspondant à chaque type de sols ont été identifiées à partir de l'abaque d'érodibilité des sols (figure 30) en tenant compte de la classe de perméabilité. Les valeurs de K estimés pour les groupes lithologiques varient de $0,03951 \text{ h}^{-1} \text{ ha}^{-1} (\text{MJ}^{-1} \text{ ha}^{-1} \text{ mm}^{-1})$ (loam-argileux), $0,02897 \text{ h}^{-1} \text{ ha}^{-1} (\text{MJ}^{-1} \text{ ha}^{-1} \text{ mm}^{-1})$ pour argile

IV.4.2. Facteur d'aménagement anti-érosif (P) :

Les techniques agricoles et de conservation des sols sont reflétées dans le facteur P. Il diminue l'érosion hydrique en réduisant le ruissellement et la vitesse de l'eau. Les plantations pastorales et arboricoles, les cordons et les seuils en pierre sèche et les bancs mécaniques font partie des innovations réalisées dans la région d'étude. $P = 1$ pour les régions non développées et $0,1$ pour les zones où les bancs de rétention sont peu inclinés. Le tableau 1 montre la valeur du facteur de pratique de soutien (Shin, 1999). La valeur du facteur P varie de 0 à 1.

Tableau 9 : valeur de P par classe de pente

Classe de Pente	Valeur de P	Pourcentage
0.0-7.0	0.55	2
7.0-11.3	0.6	3
11.3-17.6	0.8	11
17.6-26.8	0.9	19
>26.8	1.0	65

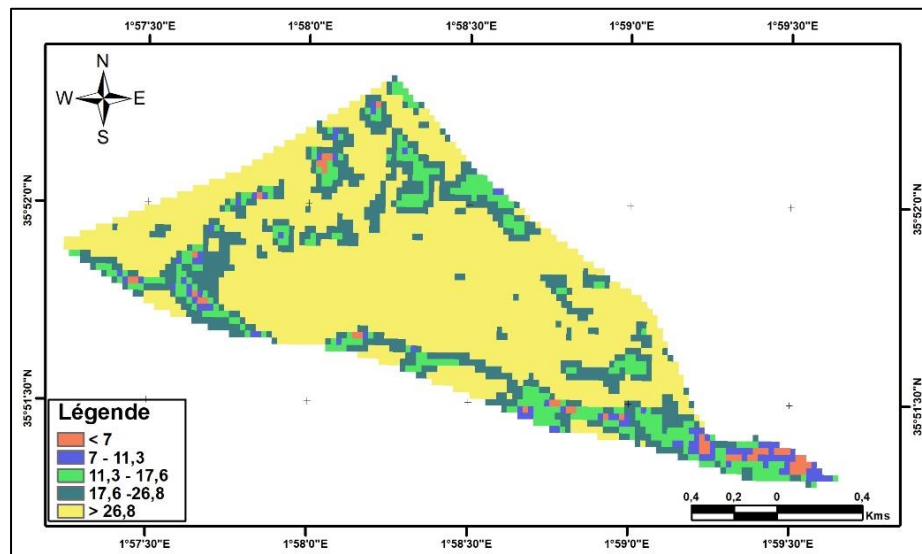


Figure 31 : Carte des classes de Pente du pré-Benchohra

Il n'y a pas d'installations anti-érosion dans zone d'étude et les agriculteurs n'entreprennent pas de technique culturale anti-érosion. Il n'y a pas non plus de cultures ni de labours sur les courbes de niveau. En l'absence d'informations sur les techniques de conservation des sols, nous avons calculé P directement à l'aide d'une formule dont les valeurs varient de 0,5 à 1.

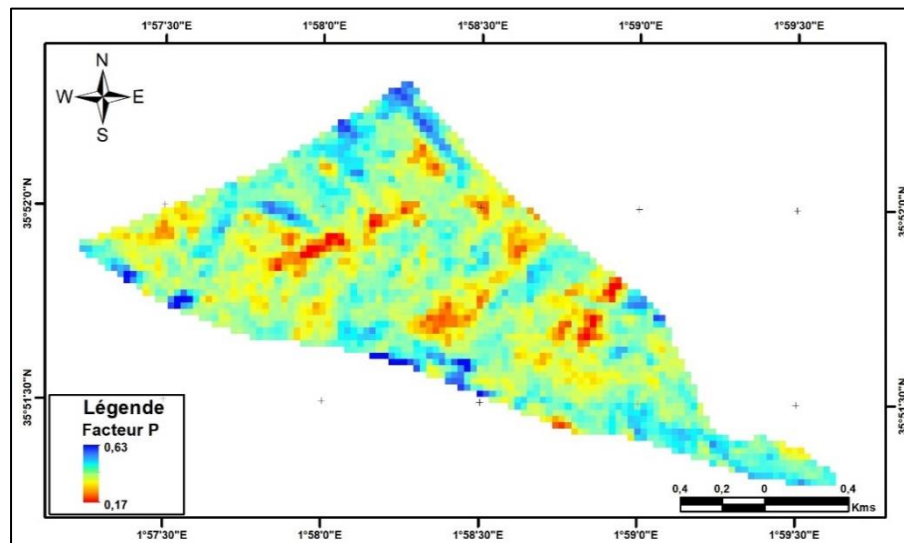


Figure 32 : carte de facteur p du canton pré- Benchohra

IV.4.3. Facteur (C) : Occupation des sols :

Sauf dans les zones isolées, la couverture végétale du sol est directement influencée par les activités humaines, qui jouent un rôle important dans la perte du sol. La formation de processus d'infiltration de pluie dans les zones insaturées et le ruissellement est influencée par la couverture terrestre. En conséquence, en fonction de la couverture végétale, le même type de sol se comportera différemment. Les parcours, les cultures annuelles et quelques oliviers définissent la couverture végétale de la région étudiée. Pour chaque classe, le facteur C de gestion de la couverture terrestre a été calculé à l'aide de valeurs provenant de sites présentant des conditions agro - climatiques similaires.

Dans le cadre de notre travail, pour estimer le facteur C, nous avons opté pour la formule donnée par l'équation (Kouli et al. 2009) qui tient compte de l'indice de végétation (NDVI) des images satellitaires Landsat-OLI8 pour l'estimation du facteur C L'équation s'écrit :

$$c = \exp \left[-2 \frac{nvdI}{(1 - nvdI)} \right]$$

L'indice de végétation (NDVI) est calculé à partir des réflectances dans le rouge (r_3) et le proche infrarouge (r_4), la figure VI.11 présente les valeurs du NDVI dans le canton pré-Benchohra :

$$NDVI = \frac{r_4 - r_3}{r_4 + r_3}$$

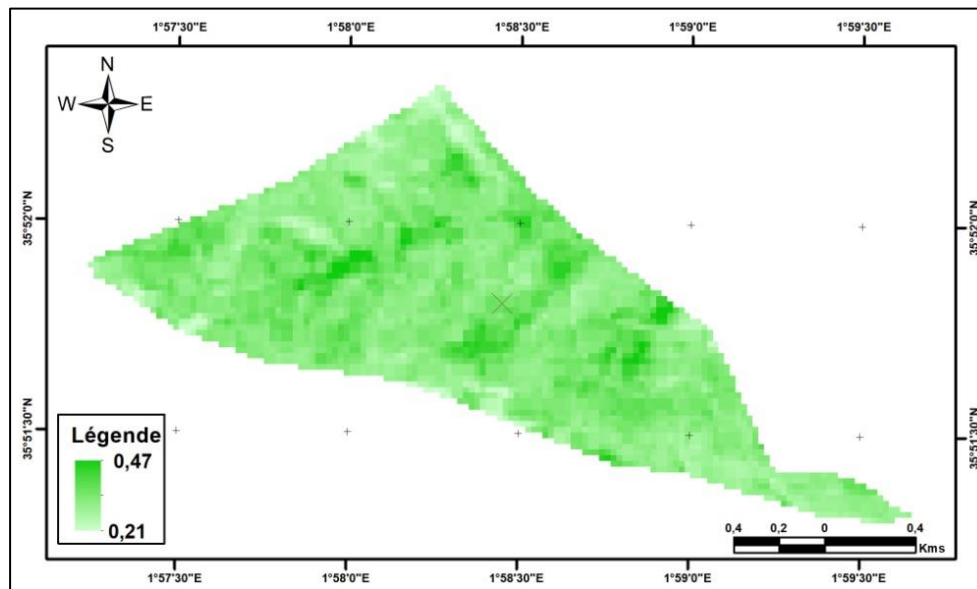


Figure 33 : Carte des valeurs du NDVI canton pré-Benchohra

La carte du NDVI et le tableau mentionné ci-dessus, montrent qu’une grande superficie du canton est caractérisée par une couverture végétale moyenne.

Tableau 10 : La classification de la végétation est réalisée suivant les conditions de seuillage

NDVI	CLASSE DE VEGETATION
< 0	Eau
0<NDVI<0.25	Sol nu
0.25<NDVI<0.5	Végétation clairsemée
0.5<NDVI<0.7	Végétation moyennement dense
NDVI>0.7	Végétation dense

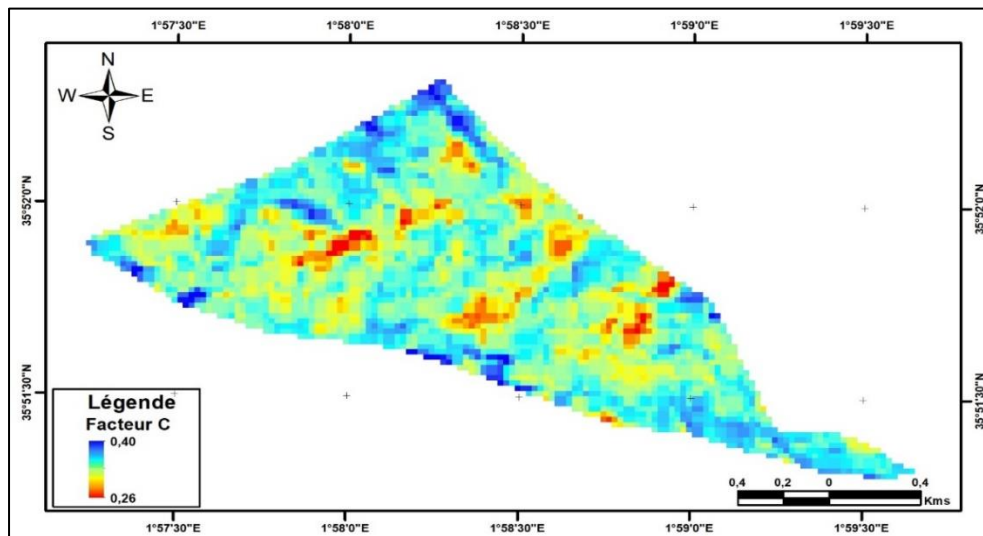


Figure 34 : Carte de facteur c du canton pré-Benchohra

Une partie du site est caractérisée par des valeurs du facteur C inférieure à 0.26 sans des zone sol nu et les valeurs supérieures à 0.26 jusqu'à 0.3 Les zones représentant végétation clairsemée et les valeurs qui représente à ≥ 0.4 , sont généralement une végétation dense.

IV.4.4. Facteur de l'érosivité des pluies (R) :

L'une des principales causes de l'érosion des sols est la pluie. Lorsque l'eau de pluie ne peut plus pénétrer dans le sol, elle repousse les particules hors du sol en les transportant (Le Bissonais et al. 2002). Le but du facteur R est de décrire l'effet érosif des précipitations sur le sol. Il prend en compte les différences climatiques régionales en termes de type, d'intensité et de fréquence des précipitations. L'érosivité de la pluie est généralement calculée à l'aide de l'équation (a) :

$$R = E \times I30 \quad (a)$$

Où

E = l'énergie cinétique des pluies (MJ/ha)

I30 = l'intensité maximale des pluies en 30 minutes exprimées (mm/heure).

L'énergie cinétique des pluies est donnée par l'équation b suivante :

$$E = 210 + 89 \times \log_{10} \times I \quad (b)$$

Où I = l'intensité de pluie.

Pour les endroits où les données sur les précipitations sont irrégulières, ces équations (a et b) suggérées par (Wischmeier et Smith .1978) comme marqueurs de l'érosivité restent difficiles à

utiliser. Dans la région d'étude, il existe quelques stations météorologiques connues qui ne donnent que des données quotidiennes sur les précipitations.

- Pour le canton pré-Benchohra, nous avons choisi de calculer la facture de l'agression climatique en utilisant la formule (c) de **(Rango et Arnoldus .1987)**. Cette formule a été fréquemment utilisée dans la région du Maghreb, et divers auteurs l'ont utilisée **(Sadiki et al. 2004)**.

- Les résultats encourageants obtenus par les auteurs précités
- La diversité des milieux algériens où cette formule a été appliquée

$$\log R = 1.74 \log \sum \left(\frac{p_i^2}{p_i} \right) + 1.29 \quad (c)$$

Avec :

- p_i : précipitations mensuelles
- p : précipitations annuelles
- R : facteur de l'agressivité climatique

Tableau 11 : Les caractéristiques climatiques des stations utilisées pour l'estimation des valeurs de l'érosivité de la zone d'étude

Station	Nom	Code	X (longitude)	Y (latitude)	Z(Alt)	R
1	Chlef	604250	1.33	36.21	143	68.46
2	Djelfa	605350	3.25	34.33	1144	40.62
3	Ksar chellala	605140	2.31	35.16	801	37.86
4	Médéa	604370	2.75	36.28	1036	102.64
5	Meliana	604300	2.23	36.3	721	104.34
6	Relizane	604920	0.55	35.73	75	56.66
7	Tiaret	605110	1.43	35.35	1127	59.18

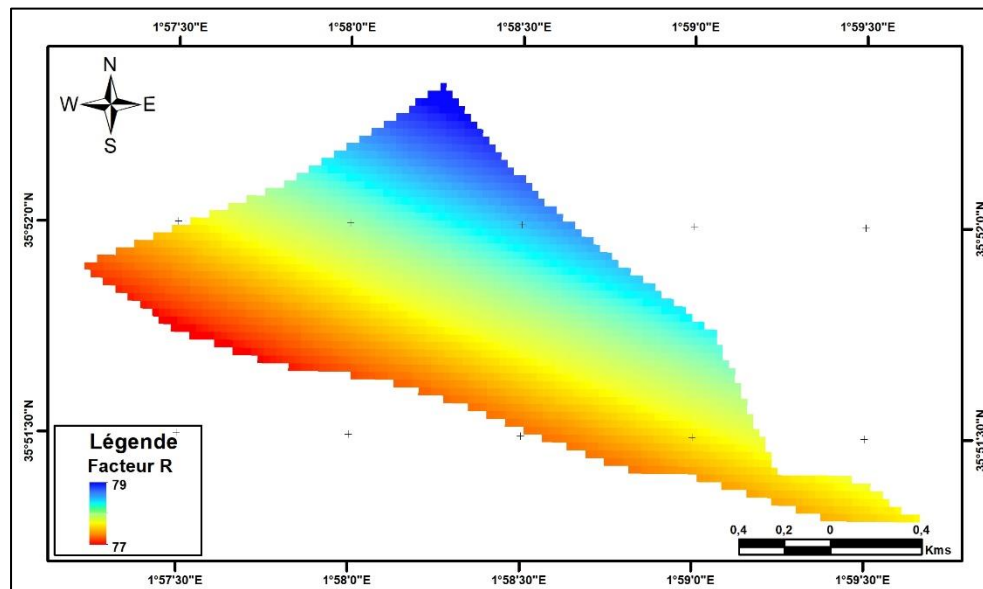


Figure 35 : Carte du facteur R du canton pré-Benchohra

L'érosivité des précipitations est montrée dans la carte ci-dessus comme étant assez variée. La partie sud a les valeurs d'érosivité les plus faibles, et on détecte une baisse de l'érosivité des pluies (facteur R) du côté sud - l'ouest du canton, et une augmentation des valeurs de R au nord, on peut avancer que l'érosivité des pluies diminue du nord au sud.

IV.4.5. Facteur topographique (LS) :

L'indice LS combine la longueur (L) et l'inclinaison (I) (S) de la pente. La longueur de la pente est la distance entre la limite supérieure de la parcelle et le point où le ruissellement commence à se concentrer sur un élément du système fluvial. Une érosion importante est souvent causée par des pentes abruptes avec un écoulement rapide. À partir du modèle numérique de terrain, le facteur LS est déterminé pour chaque placette.

Une érosion importante est souvent causée par des pentes abruptes à écoulement rapide, dont l'étendue est déterminée par la géologie, la composition des sols et la protection assurée par le couvert végétal (**hamadi.2015**).

Le facteur LS est déterminé par la longueur et l'inclinaison de la pente. La carte des pentes (Figure) a été créée à l'aide du modèle numérique de terrain (MNT) de la région. (**Moore et Burch .1986**) ont proposé une formule simple que nous pouvons modifier dans notre base de données.

L'équation s'écrit :

$$Ls = \left(\frac{L}{22.13} \right)^{0.4} \times \left(\frac{\sin(s)}{0.0896} \right)^{1.3}$$

L : est la longueur de la pente en mètres (m), qui est dérivée suivant l’algorithme des masses et flux (Gruber et Peckham., 2008) intégré dans le logiciel Qgis

S : est l’inclinaison de la pente en mètres (m)

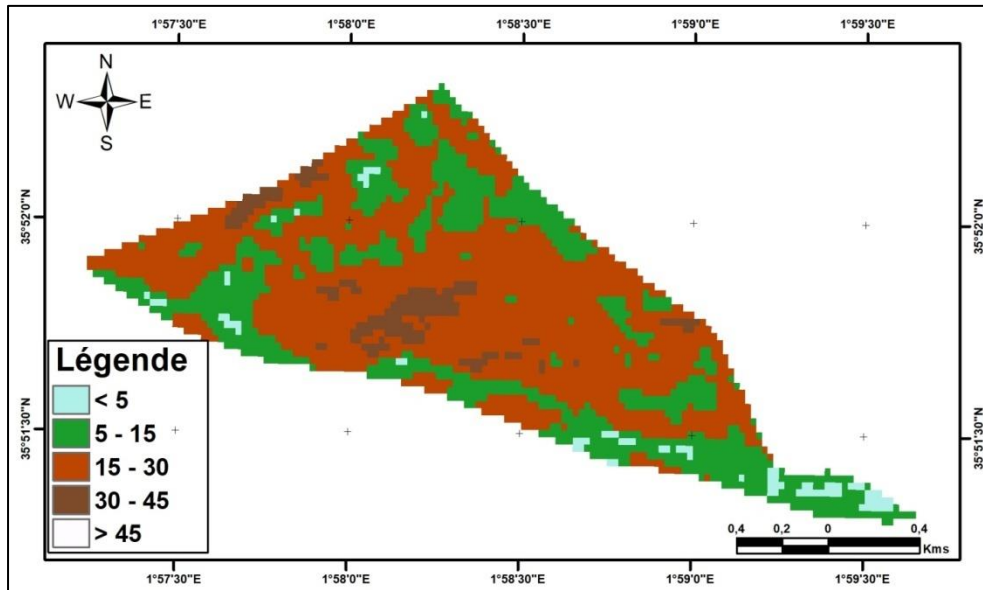


Figure 36 : Carte des pentes du canton près Benchohra

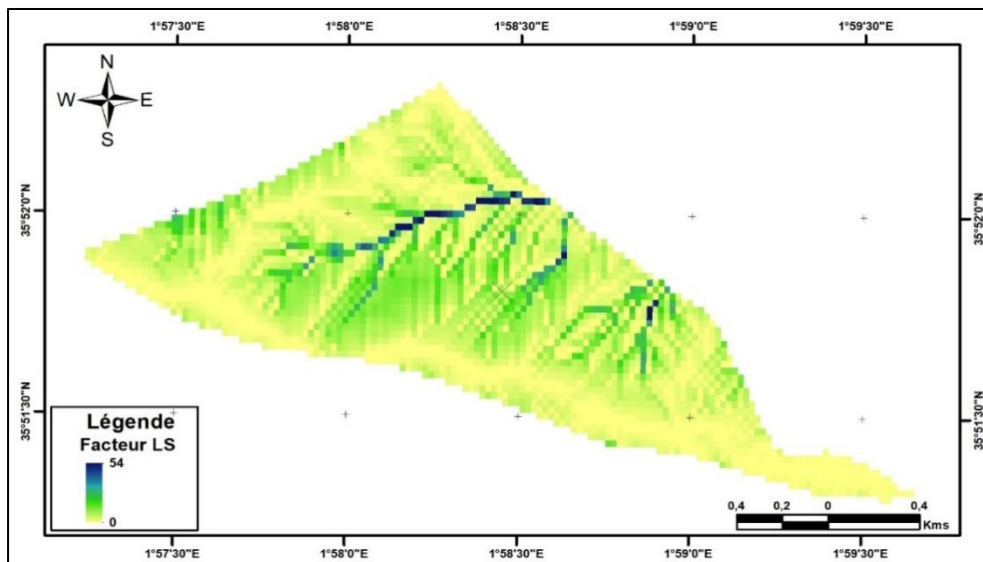


Figure 37 : Carte du facteur LS du canton pré-Benchohra

Tableau 12 : la classification de la pente.

Classe de pente (deg)	Type de pente
< 5	Très faible
5 à 12	Faible
12 à 50	Modéré
50 à 100	Sévère
> 100	Très sévère

D'après la carte et le tableau mentionné ci-dessus une partie du canton pré-Benchohra est caractérisée par un facteur $LS \geq 50$ (modéré et sévère) donc il s'agit d'un écosystème montagneux favorable à l'érosion hydrique car l'eau ruissèle avec une grande vitesse qui érodera le sol.

IV.4.6. Facteur (A) : Perte des sols :

Le niveau des pertes de terres a été évalué à l'aide de l'échelle donnée par **Wischmeier et Smith (1978)**. Comme indiqué dans le **tableau 13**, la combinaison de couches est basée sur des règles arithmétiques et des opérateurs booléens pour construire une nouvelle valeur dans la couche composite, ce qui est indicatif pour chaque pixel de pertes de sol (A).

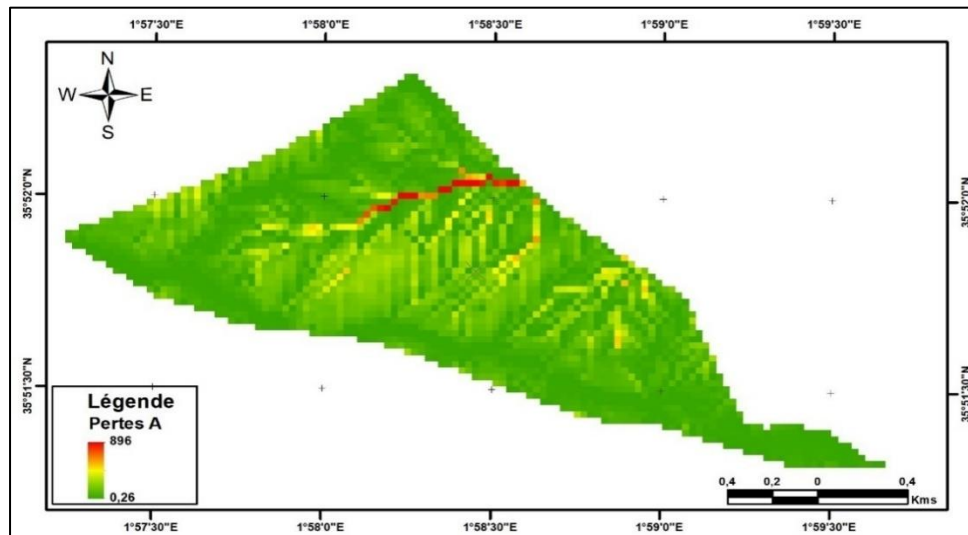


Figure 38 : caret de perte en sol en $(t \cdot ha^{-1} \cdot an^{-1})$ du canton pré-Benchohra

À l'aide de multiples procédures d'analyse multicritères et de SIG, nous avons produit et agrégé les dimensions et les caractéristiques qui interfèrent avec les processus d'érosion dans notre site de recherche. Il ne s'agit plus que d'intégrer les résultats de ces recherches dans le modèle global et d'estimer les pertes de sol.

Dans le modèle USLE, le taux d'érosion est influencé par l'agressivité climatique R (ou érosivité des précipitations), l'érodibilité du sol K et l'impact combiné du degré et de la longueur de la pente LS, du couvert végétal C et des pratiques.

p. antiérosif Sa détermination permet aux chercheurs de déterminer la distribution du risque érosif causé uniquement par des sources naturelles.

La possibilité de créer une carte des pertes de sol à n'importe quel endroit du bassin versant est rendue possible en croisant les cartes des principaux facteurs d'érosion hydrique du sol. La quantité de terres potentiellement érodables en t/ha/an est indiquée sur cette carte. Les résultats ont été classés en classes

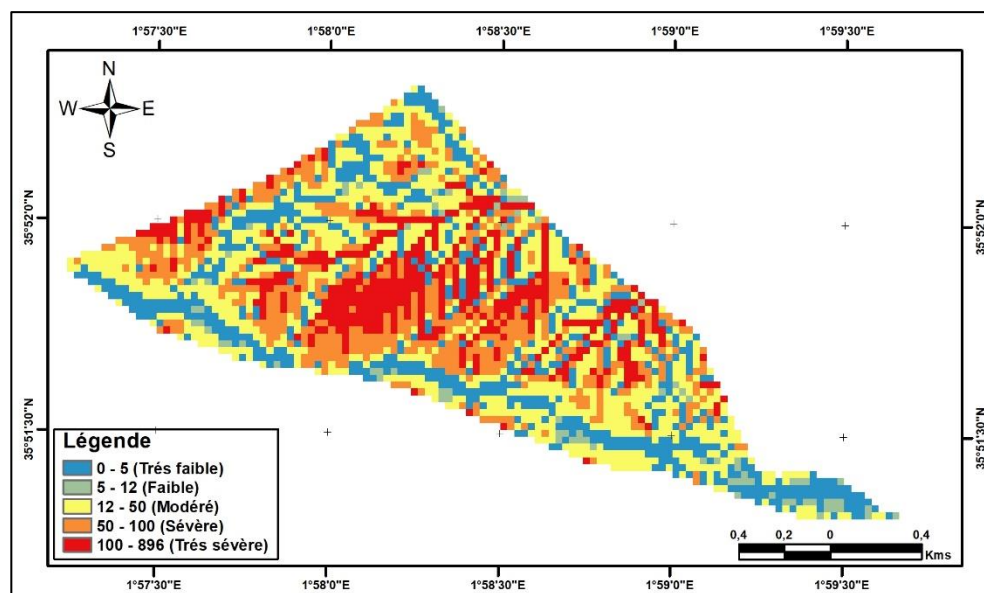


Figure 39 : carte de répartition des pertes des sols du canton Pré-Benchohra

La carte des risques d'érosion est créée en multipliant les couches de résolution de 30 m au format raster qui reflètent les paramètres USLE (R, K, LS, C, P).

La figure montre non seulement la quantité de perte de sol dans chaque pixel, mais elle montre également les régions cruciales en ce qui concerne le risque de perte de sol.

Tableau 13 : classe de perte de sol et son pourcentage dans le canton pré - Benchohra

Classe	Perte en sol	Dégré	Pourcentage
1	0-5	Très faible	24
2	05—12	Faible	3
3	12—50	Modéré	34
4	50—100	Sévère	22
5	>100	Très sévère	17
			100

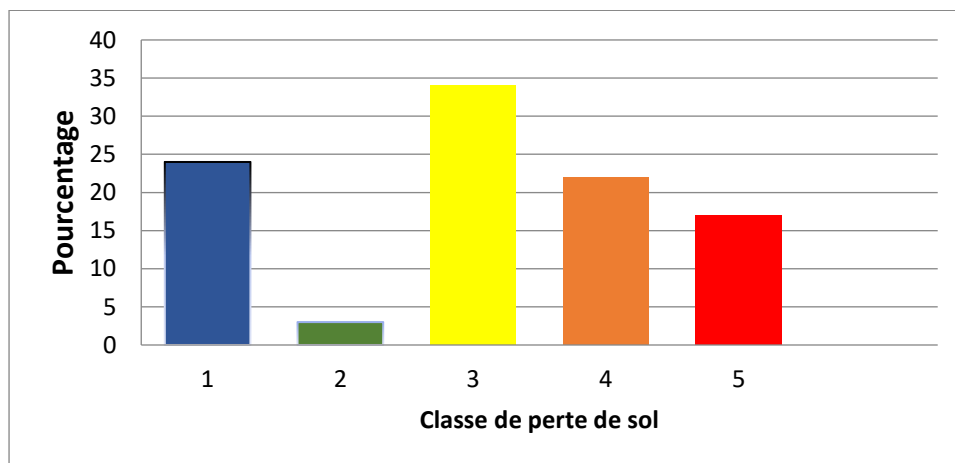


Figure 40 : classe de perte de sol et son pourcentage dans le canton pré-Benchohra

Pour les classes 4 à 5, les données suggèrent que les lieux à risque grave et très grave occupent respectivement 22% et 17% du territoire du canton de Benchohra.

Les zones de sensibilité très faible et faible couvrent 24%, 3 % respectivement pour la classe 1 et 2. Le reste 34 % présentent un risque modéré respectivement pour la classe numéro 3.

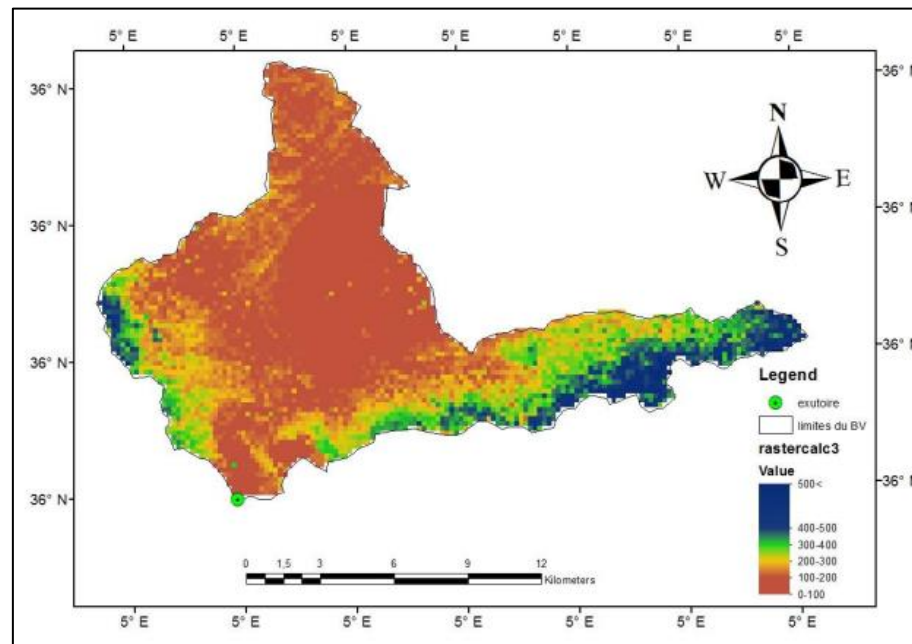


Figure 41 : Carte de pertes en sol du bassin versant de l'oued Soubella

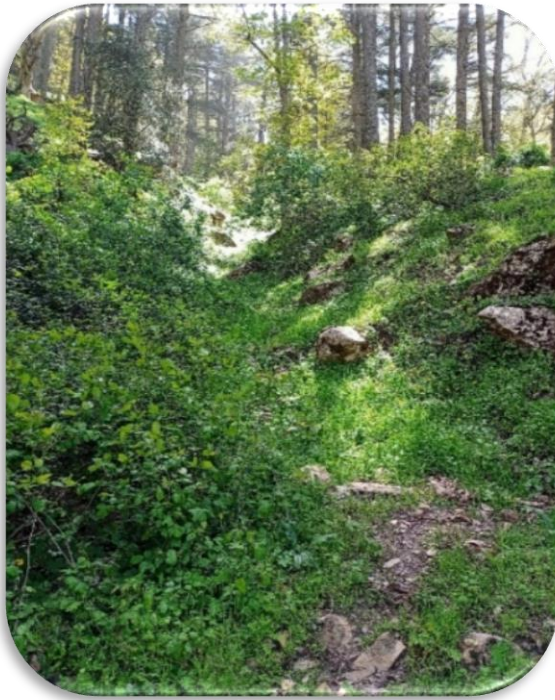
De cette figure, on peut voir que le taux d'érosion entre canton pré Benchohra et bassin versant de l'oued Soubella varie d'une région à l'autre selon l'influence des différents facteurs qui contrôlent la dérive et ce taux. Elle varie de 0,018 à 500 tonnes/ha/an. Si l'on adopte la classification créée aux États-Unis basée sur Tolérance du sol à la perte, des classes ont été distinguées dans le bassin de la vallée de Subilla, à savoir :

1. Une première classe qui regroupe les zones avec une érosion potentielle faible inférieure à 11 t/ha/an. Elle constitue 18% de la superficie du bassin étudié et couvre principalement les frontières du bassin et une partie près de l'exutoire du bassin.

2. Une deuxième classe qui regroupe les zones avec une érosion potentielle modérée comprise entre 5 et 15 t/ha/an. Elle constitue 25% de la superficie du bassin étudié, se focalise principalement sur la plaine en milieu et au Nord du bassin versant.

3. une troisième classe qui regroupe les zones avec une érosion potentielle élevée comprise entre 15 et 30 t/ha/an. Elle représente 20% de la superficie du bassin étudié.

4. La quatrième classe regroupe les zones avec une érosion potentielle grave supérieure à 30 t/ha/an. Cette classe représente 37% de la superficie de l'oued de Soubella, elles se localisent dans les zones montagneuses au Sud-Ouest du bassin près Sidi Ouadah et au nord-Ouest près de montagne Bou Taleb



A



B

Figure 42 : Quelques exemples d'érosion hydrique dans le canton pré – Benchohra



Figure 43 : exemple de pente dans le canton pré – Benchohra

Discussion :

Notre travail consiste à ressortir les zones les plus exposées à l'érosion. La méthode utilisée pour évaluer la perte de sol est une combinaison de deux indicateurs SIG et le modèle USLE permet de mieux identifier les zones à fort risque d'érosion.

Le croisement des cartes des principaux facteurs intervenant dans l'érosion hydrique des sols permet d'obtenir la carte des pertes en sols en tout point du canton. L'application de la formule de **(Wischmeier & Smith .1978)** en tenant compte des valeurs numériques des cinq facteurs donne la perte en sol pour chaque point du canton. Ce traitement permet de subdiviser le territoire de 25220 ha du canton en 5822 unités distinctes d'une surface de 4,3 ha en moyenne. Chaque unité possède des valeurs homogènes des cinq facteurs de l'USLE, avec une perte en sol, moyenne de tous les pixels de l'unité exprimée en t/ha/an.

La synthèse de l'ensemble des informations dans un SIG a permis de dresser une carte de perte des sols par érosion, en tonnes par hectare par année, selon cinq degrés : très faible (<5), faible (5-12), modéré (12-50), sévère (50-100), et très sévère (> 100), dans lesquelles les zones en état sévère et très sévère couvrent 39% de la superficie du canton contre 27% des terres en état très faible et faible, le reste (34 %) étant en état modéré. Ces résultats montrent que l'intensité de l'érosion et les quantités de sédiments produits varient essentiellement en fonction de l'occupation actuelle des sols ainsi que de la nature des terrains et des pentes. Cette approche nous a permis de spatialiser un modèle local de quantification de l'érosion et de localiser les zones prioritaires pour d'éventuelles interventions d'aménagement.

CONCLUSION GENERALE

CONCLUSION GENERALE

Ce présent travail a permis de faire le point sur l'ampleur du degré d'érosion dans toute la surface du canton pré-Benchokra en utilisant l'équation universelle de perte en sol 'USLE' (Universal Soil Loss Equation). Tout au long des chapitres de ce travail, nous avons défini l'ensemble des paramètres, géomorphologiques, climatiques et géologiques qui permettent de déterminer les cinq facteurs principaux qui composent l'équation 'USLE' et contrôler l'érosion hydrique dans le bassin versant, à savoir : agressivité climatique, érodibilité des sols, inclinaison et longueur de pente, occupation des sols et l'effet des pratiques anti-érosives. Afin de bien comprendre un tel phénomène et vue la grandeur et la complexité des facteurs qui le gouvernent, nous étions amenés à suivre les étapes ci-dessous : Présenter les caractéristiques morphométriques du canton pré-Benchokra;

Investir dans des études de simulation qui tiennent compte des changements régionaux et temporels est nécessaire pour évaluer l'érosion hydrique et le mouvement des sédiments.

La carte des risques de dégradation par érosion hydrique du canton pré-Benchokra a été réalisée à l'aide du modèle MNT, qui a été utilisé dans un Système d'Information Géographique et en appliquant l'équation universelle de perte de sol (USLE/RUSLE).

L'application de ce modèle a été faite en tenant compte de tous les facteurs érosifs : l'érosivité des pluies annuelles (R), la topographie (LS), l'érodibilité des sols (K), l'occupation des sols (C) et d'aménagement anti-érosif (P).

Les résultats de l'utilisation du modèle USLE ont permis de créer une carte du risque de dégradation des sols par érosion hydrique, qui fournit une mine d'informations sur la perte de sol dans le canton étudié.

La répartition spatiale des différentes classes de sévérité de l'érosion est de 24 % soit très faible, 3 % faible, 34 % modérée 22 % élevée et 17 % très élevée. La moitié de la superficie du canton représente des pertes de sol supérieures à 126 t.ha-1.an-1 résultant de l'interaction de plusieurs facteurs, principalement la prédominance de pentes abruptes et de sols très érodables qui réduit le couvert forestier au profit des cultures ainsi que l'absence de mesures et d'ouvrages de lutte contre l'érosion.

Pour comparer nos résultats ailleurs, nous trouvons le taux d'érosion sur tout le bassin de l'oued Soubella, qui est en moyenne de 5.58 t/ha/an. Que signifie ? : Le taux d'érosion dans d'une zone à l'autre selon l'influence des différents facteurs qui contrôlent l'érosion

REFERENCES
BIBLIOGRAPHIQUE

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES :

Abdelhaimd, dj. (1992). Contribution à l'étude des insectes du cèdre de l'atlas. *Cedrus atlantica* m. Mem. Ing. Agro. Ines, blida, 66p

Abdelhamid m et gherf s. (2011). Contribution à l'élaboration d'un plan d'aménagement forestier intégré du parc national de theniet el had. Diplôme d'ingénieur d'état en sciences agronomiques, université ibn khaldoun tiaret. 115p.

Alzouma, g. (2005). Myths of digital technology in africa: leapfrogging development? *Global media and communication*, 1(3).

Andreas neumann .(2011). « qgis et l'infrastructure de données spatiales de la ville d'uster », uster, suisse,

Anonyme. (1930). Les parcs nationaux de l'algérie, édition jules carbonel, alger, 106 p

Atherton, j., olson d., farley, l. And qauqau, i. (2005). Watershed assessment for halthy reefs and fisheries, final report to the united states department of state. *In* wildlife conservation society-

Belkaid, b. (1988). Etude phytoécologique et possibilité d'amélioration dans la cédraie du parc national de theniet-el-had. Thèse.ing, institut de technologie agricole. Mostaganem, 46p

Belgharbi b. Et sadat h .(1994). Contribution à l'étude et la cartographie de l'érosion dans les monts de béni-chougrane : facteur anthropique. Thèse d'ingénieur en foresterie. Université de tlemcen. Pp 26,52-73

Berger jean.(2005) .françois, bertoncello Frédérique, braemer frank, davtian gourgen, gazenbeek michiel, dir, temps et espaces de l'homme en société. *Analyses et modèles spatiaux en archéologie* (actes des xxve rencontres internationales d'archéologie et d'histoire d'antibes-2004), éditions apdca, antibes,

Berkovitz b., dror i., yaron b. (2008). Contaminant geochemistry; interaction and transport in the subsurface environment. Springer

Bonham-carter, g. F. (1994). Geographic information systems for geoscientists: modelling with gis. The netherlands, elsevier butterworth-heinemann, 398 p.

Bonnet d. (1983). Prise en compte des risques naturels en forêt de montagne : quelques réflexions dans le cas des forêts soumises des alpes du nord. Grenoble : cemagref. (mémoire de 3ème année enitef). 106p.

Boiffin j. (1985) .stages and times dependancy of soil crusting in situ. Inter. Sym. On the assessment of soil surface sealing and crusting.

- Bonilla, c.a., reyes, j.l., magri, a. (2010).** Water erosion prediction using the revised universal soil loss equation (rusle) in a gis framework, central chile. *Chilean journal of agricultural research* 70 (1), 159-169.
- Boudy, p. (1950).** Economie forestière nord, africaine. Monographie et traitement des essences forestières. Edit. Larousse. T 2 paris, france : p 529 – 619
- Burrough, p. A. (1987).** Principles of geographical information systems for land resources assessment. *Soil science*, vol. 144, n° 4, p. 306.
- Bussiere m. (1996).** L'érosion des sols cultivés en france : manifestation, coûts, remèdes. Mém. D.e.s.s., univ. Picardie jules verne, 136 p
- Calvet r.(2005).** Les pesticides dans le sol : conséquences agronomiques et environnementales. France agricole editions, 637 p
- Calvet r., chenu c., houot s. (2011).** Les matières organiques des sols. Editions france agricole.
- Cerdan o., couturier a., le bissonnais y., lecomte v., souchère v. (2002).** Incorporating soil surface crusting processes in an expert-based runoff model : sealing and transfer by runoff and erosion related to agricultural management. *Catena* 46, p: 189–205.
- Chaussod r. (1996).** « la qualité biologique des sols : évaluation et implications ». In forum : le sol, un patrimoine menacé ? Numéro spécial. Inra
- Chebbani r., djilli k. Et roose e. (1999).** Etude à différentes échelles des risques d'érosion dans le bassin versant de l'isser. Bull. Réseau – érosion n°17, ed. Ird (ex. Orstom), montpellier, 85- 95.
- Collet, c. (1992).** *Systèmes d'information géographique en mode image*, lausanne, presses poly techniques et universitaires rom andes, col. Gérer l'environnement n° 7, 1 86 p.
- Comitaas. (1988).** Université de sherbrooke, 2500, boul. De l'université, sherbrooke (québec) canada j1k 2r1.
- Dahmani, a. (2012).** Contribution à l'étude de l'érosion et du ruissellement des sols rouges dans les monts de tlemcen : utilisation de simulation de pluies.
- Dekiche et al. (1997).** "caractérisation des sols gypseux dans les zones arides par télédétection cas du sous-bassin versant d'oued djedi-biskra".
- Demmak a. (1982), d'après, mohammed achite, Bénina Touaibia & Sylvain Ouillon, .(2006).** "érosion hydrique en algérie du nord : ampleur, conséquences & perspectives" haddad (nord-ouest algérien) " sécheresse 2004 ; 15 (4) : 367-73.
- Denis a.(2014).** Travaux pratique de la télédétection spatiale, département des sciences et gestion de l'environnement, université de liège (ulg), 11p.

- Desmet, p. J. J., govers, g. (1996).** A gis-procedure for automatically calculating the usle ls-factor on topographically complex landscape units. *Journal of soil and water conservation*, v.51, n. 5, p. 427-433.
- Deumlich, d., funk, r., kiesel, j., thiery, j. And reuter, h. I. (2006).** Application of the site comparison method (sicom) to assess the potential erosion risk – a basic for the evaluation of spatial equivalence of agri-environmental measures. *Catena*, vol. 68, p. 141-152.
- Dip, m et zaiz, a. (2011).** Apport du sig dans l'étude de la productivité des espèces forestières : cas du cèdre de l'atlas dans le parc national de theniet el had.
- Donnay, j.p et m. Binard. (1991).** « spatially continuous processing within a raster based gis : some examples of geographical models », *bulletin de la société belge de géographie*, sobeg, vol. 2, pp. 333-344.
- Dumas, p. (2004).** Caractérisation des littoraux insulaires : approche géographique par télédétection et s.i.g. Pour une gestion intégrée, application en nouvelle-calédonie. Thèse de doctorat, université d'orléans, orléans, 402 p.
- Durand j.h. (1954).** Les sols d'algerie. Ed. Sci. Gouv. Pédologie. Alger. Pp : 1-244
- Dykstra d.p. (1996).** Système d'information appliquée à la foresterie. *Revue international des forêts et des industries forestières (fao)*. Vol. 47, no. 189. (en ligne) (dernière visite, aout 2010.)
- Eastman jr, jin w, kyem p, toledano j. (1995).** Raster procedures for multicriteria/multi-objective decision. *Photogramm eng remote sensing* 61 :539547.
- Esri. (2004).** Utilisation d'arc map, arc gis 9, esri 380 new york street realands. Esri france 21. 646p.
- Elisabeth-ird. (2000).** Laboratoire de cartographie .qu'est-ce qu'un système d'information géographique 6p.
- Fao.(1976).** La conservation des sols dans les pays en voie de développement. *Bulletin pédologique*, vol. 30, 92p.
- Fao., (1983).** Garder la terre en vie : l'érosion des sols, ses causes et ses remèdes. *Bulletin pédologique*, vol. 50, 62p.
- Foster g.r., mayer l.d. (1972).** a closed-form erosion equation for upland areas. In: *sédimentation : symposium to honor professor h. A. Einstein*, fort collins, colorado, (ed. By h. W. Shen), p : 12.1-12.19.
- Gary, l. C., (2008).** *Dem ii - tin data structures*, course no. Rnr 420.university of arizona.

- Ghelide. M. (1996).** Mémoire ing d'état i.n.f.s.a mostaganem contribution à l'étude et à la cartographie des sols du plateau de mostaganem cas de stidia-macta, mémoire ing d'état i.n.f.s.a mostaganem, p 54. 65p.
- Girard, m.-c., walter, c., rémy, j.-c., berthelin, j. Et morel, j.-l. (2005).** *Sols et environnement.* Paris, dunod, 816 p.
- Gobat, j., aragno, m., matthey, w. (2010).** Le sol vivant : bases de pédologie, biologie des sols. Ed. Presses polytechniques et universitaires romandes 3ème éd., 817 p.
- Greco. J. (1966).** L'érosion, la défense et la restauration des sols, et reboisement en algérie ,232p
- Gruber s. Et peckham s. (2008).** Land-surface parameters and objects in hydrology. In: hengl, t. And reuter, h.i. [eds.] : geomorphometry : concepts, software, applications. Developments in soil science, elsevier, bd.33, s.293-308
- Gueriniaï. A .(2012).** Analyse spatio-temporelle par télédétection de la région de djelfa -evolution de l'occupation du sol- ecole nationale supérieure agronomique el harrach – alger mémoire de magister en sciences agronomiques spécialité : foresterie et protection de la nature option : foresterie et conservation de la biodiversité
- Hadjiat k.. (1997).** "etat de dégradation des sols en algérie". Rapport d'expert pnae, banque mondiale, 45p.
- Hadjadj m.f. (2011).** Apport des sig et des images satellites pour la cartographie numérique de la forêt de chettabah (wilaya de constantine). (modélisation climatique et classification). Thèse de magister. Univ, el hadj lakhdar, batna. Pp 6-7,10-25.
- Hamadi. (2015).** Cartographie de l'érosion hydrique dans le bassin versant de l'oued fergoug par télédétection et sig 52p
- Hessas. (2005).**evaluation cartographique et évolution diachronique par télédétection du risque incendie de forêt. Simulation de la propagation du feu dans le bassin versant du paillon, nice, alpes - maritimes. Thèse doctorat, institut de géographie alpine, université joseph fourier - grenoble i, france, 378 p.
- Heusch b. (1970).** L'érosion hydrique dans le bassin de sebou : une approche quantitative. Revue géogr. Du maroc., 15, 109-128.
- Hudson n.w. (1981).** Soil conservation. Batsford, uk, 2d edition, 320 p.
- Heusch b. (1982).** Etude de l'érosion et des transports solides en zone semi-aride. Recherche bibliographique sur l'afrique du nord. Projet rab/80/04 pnud.p83.

Heusch b. (1988). Aménagement de territoire : techniques de lutte contre l'érosion, cnearc montpelier, 199p.

Hutchinson c.(2006). L'homme, principal acteur de la désertification. Futura-sciences. Unesco.

Jensen, j. R. (2000). Remote sensing of the environment: an earth resource perspective, published as 1st ed. Upper saddle river, new jersey: prentice hall, inc.

Kanwar j.s. (1982). Managing soil resources to meet the challenge to mankind. Presidential address of 12th int. Congress of soil science, new delhi, india. 8-16 february. Plenary session paper : 1-32.

Karydas, c.g., sekuloska, t., silleos, g.n. (2009). Quantification and site-specification of the support practice factor when mapping soil erosion risk associated with olive plantations in the mediterranean island of crete. *Environmental monitoring and assessment 149*, 19-28.

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.

Khedim rabah. (2019). Etude de la biodiversité lichénique du parc national de theniet-el-had (tissemsilt, algérie) université de sidi-bel abbes 55p

Khemache, et all.(2013). Typologie des habitats naturels du parc national de theniet el had ; université d'ibn khaldoun / tiaret (stage de confirmation : conservateurs divisionnaires des forêts) 22_23_24_25_26p

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. *Environmental geology 57*, 483-497.

Krishna bahadur, k.c. (2009). Mapping soil erosion susceptibility using remote sensing and gis: a case of the upper nam wa watershed, nan province, thailand. *Environmental geology 57*, 695-705.

Lal, r., griffin, m., apt, j., lave, l., granger morgan, m.(2004). Managing soil carbon. Science 304 no. 56, p. 393.

Le bissonnais y., dubreuil n., daroussin j., gorce m. (2004). « modélisation et cartographie de l'aléa d'érosion des sols à l'échelle régionale. Exemple du département de l'aisne. » *etude et gestion des sols 11 (3)*, 2004 : 307-321.

Le bissonnais, y., j. Thorette, c. Bardet et j. Daroussin.(2002). *L'érosion hydrique des sols en france*, inra, ifen, 1 06 p.

Leguédois, s. (2003). *Mécanismes de l'érosion diffuse des sols. Modélisation du transfert et de l'évolution granulométrique des fragments de terre érodés*, phd thesis, université d'orléans.

- Lovejoy, t. E., bierregaard, r. O., rylands, a., malcolm, j., quintela, C., harper, l., brown, k., powell, a., powell, g., schubart, h. & hays, m. (1986).** Edge and other effects of isolation on amazon forest fragments. Pp. 257–285 in soule', m. E. (ed.). Conservation biology : the science of scarcity and diversity. Sinauer, sunderland.
- Luneau, g. (2006).** La spatialisation de l'aléa érosion des sols en nouvelle-calédonie. Stage de master 2, université de toulouse, toulouse, 75 p.
- Mairif . (2014).** La typologie de la cédraie du parc national de theniet el had : un outil de description au service des gestionnaires forestiers thèse magister (université) tlemcen 38 p
- Mairif . (2014).** La typologie de la cédraie du parc national de theniet el had : un outil de description au service des gestionnaires forestiers thèse magister (université) tlemcen 35p
- Markhi, a., laftouhi, n., soulaimani, a., fniguire, f. (2015).** Quantification et évaluation de l'érosion hydrique en utilisant le modèle rusle et dépositions intégrées dans un sig. Application dans le bassin versant n'fis dans le haut atlas de marrakech (maroc). *European scientific journal* octobre 2015 edition vol.11, no.29.
- Mattauer, m. (1954).** Etude géologique de l'ouarsenis oriental (algérie). Service de la carte géologique de l'algérie, alger bulletin n° 17, 550p.
- Mccool, d. K., brown, l. C., foster, g. R. (1987).** Revised slope steepness factor for the universal soil loss equation. Transactions of the asae, v. 30, n. 5, p. 1387-1396.
- Meziane boualem. (2017).** Les coléoptères saproxyliques des monts d'ouarsenis (nord-ouest algérien) : cas du parc national de theniet el had ; thèse de (magister) en ecologie et dynamique des arthropodes université abou-bakr belkaid tlemcen 54p.
- Mekrarbech hadjer , haloui sarra, (2018).** Implantation d'un système d'information géographique mobile pour les commerces de la ville mostaganem,mémoire pour l'obtention du diplôme de master université abdelhamid ibn badis - mostaganem, p15-20.
- Miller, c. L., la flamme, r. A. (1958).** *The digital terrain model – theory and application*.photogrammetric engineering and remote sensing, vol 24, pg 433-442, 1958.
- Moeyerson s. (1989).** Etude et prévision de l'érosion des sols limoneux cultivés en moyenne belgique, thèse présentée pour l'obtention du grade de docteur en sciences géographiques. Liège : ulg, 1982, 356pages et annexes.
- Mohammed achite, bénina touaibia & sylvain ouillon, (2006).** "érosion hydrique en algérie du nord : ampleur, conséquences & perspectives".
- Moore i. D. Et burch g. J. (1986).** Physical basis of the length-slope factor in the

Universal soil loss equation. Soil science society of america journal, 50(5), and 12941298.

Morgan r., (1986). Soil erosion et conservation. Ed : d.a. Davidson, john wiley and sons inc., 253p.

Mouffok. M, (2003). Mémoire ing d'état i.n.f.s.a mostaganem, l'espace littoral ouest de mostaganem cas de la zone des sablette-ouréah en vue d'une orientation touristique ,p34et 35.

Naggar, o. (2010). Etude symptomatique du dépérissement du cèdre de l'atlas (*cedrus atlantica manetti*) dans le parc national de theniet el had (w. Tissemsilt). Mémoire magister. Forest. Univ. Tlemcen, 155p.

Ontario centre for soil resource evaluation. (1993). *Field manual for describing soils in ontario*. 4^e édition. Compilé par k. A. Denholm et l. W. Schut.

Ouattara, t. (2002). Modélisation de l'érosion hydrique en milieu semi-aride de forte énergie de relief à partir de données de télédétection : application à la bolivie. Thèse de doctorat, université de sherbrooke, sherbrooke, 170 p.

Panagos, p., borrelli, p., meusbarger, k. (2015). A new european slope length and steepness factor (ls-factor) for modeling soil erosion by water. *Geosciences* 5, 117–126.

Pierre brabant,(2008). Activités humaines et dégradation des terres indicateurs et indices ,17p

Pimentel d. (2006). Soil erosion : a food and environmental threat. Environ. Dev. Sustain. 8 : 119 - 137

PNTH. (2002). Direction du parc national de theniet el had (département des ressources naturelles), phase approche descriptive et analytique. 78p.

PNTH. (2006). Atlas des parcs nationaux. Direction générale de forêts, parc national de theniet el had, ed diwan, 91p

Prasannakumar, v., vijith, h., abinod, s. And geetha, n. (2012). Estimation of soil erosion risk within a small mountainous sub- watershed in kerala, india, using revised universal soil loss equation (rusle) and geo information technology. *Geoscience frontiers*, vol. 3, no.2, pp.209-215.

Poppenga, s. (2009). *Generating surface flow features from 1-meter lidar-derived digital elevation models*. U.s. Geological survey's website. (consulté le 6 juin 2013).

Ploey j. (1990). La conservation des sols. La recherche 227, suppl. 6 : 111-122

Rango, a. And arnoldus, h.m.j. (1987). Aménagement des bassins versants. In : cahiers techniques de la fao : 1-11.

Raper, j.f. And maguire, d.j. (1992). Design models and functionality in gis. Computers & geosciences, 18, 387-394.

Remmas, h. (2014). Contribution à l'étude et à la cartographie des zones sensibles à l'érosion hydrique du sous bassin versant d'oued saida (mémoire de master), 66 p.

- Renard, k.g., foster, g. R., weesies, g.a., mccoool, d. K. And yoder, d.c. (1997).** Predicting soil erosion by water—a guide to conservation planning with the revised universal soil loss equation (rusle). Washington, handbook, 404 p.
- Renard, k.g., foster, g.r., weesies, g.a., mccoool, d.k., yoder, d.c. (1997).** Predicting soil erosion by water—a guide to conservation planning with the revised universal soil loss equation (rusle). United states department of agriculture, agricultural research service (usda-ars) handbook no. 703.
- 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., (1977).** Erosion et ruissellement en afrique de l'ouest : vingt années de mesures en petites parcelles expérimentales orstom. Paris, travaux et doc.n° 78, 105 p
- Roose, e. (1993).** Erosion : a current environmental problem. The gces, a new strategy for fighting erosion to resolve this dilemnia of a growing society. In : s. Wicherek (editor), farm and land erosion : in temperate plains environment and hills. *Elsevier science publisher*, amsterdam, 571-585
- Roose e. (1994).** Introduction à la gestion conservatoire de l'eau, de la biomasse et de la fertilité des sols (cges). Rome 1994. Orstom-montpellier, france. 245 p.
- Roose e. (1996).** Methodes, mesures, des états de surface du sol et la rugosité et des autres caractéristiques qui peuvent aider un diagnostic de terrain de risques de ruissellement et l'érosion. Bul. Res. Eros. Ird. Montpellier. 87-9.
- Sadiki, a., s. Bouhlassa, saïdati., j. Auajjar, a. Faleh, et j.j. Macaire, (2004),** « utilisation d'un sig pour l'évaluation et la cartographie des risques d'érosion par l'équation universelle des pertes en sol dans le rif oriental (maroc) : cas du bassin versant de l'oued boussouab », *bulletin de l'i institut scientifique*, rabat, section sciences de la terre, n° .26, pp. 6 90 -7 9.
- Sari d, (1977).** L'homme et l'érosion dans l'ouarsenis (algérie). Ed. Sned, alger, 623 p.
- Seltzer p. (1946) :** le climat de l'algérie ins met phy du globe de l'univ d'alger 219p.
- Shin, y. (1999).** “an autoregressive distributed lag modelling approach to cointegration analysis.” *Econometrics and economic theory in the 20th century : the ragnar frisch centennial symposium*, strom, s. (ed.) Cambridge university press.
- Stephens p. R. And cihlar, j. (1981).** The potential of remote sensing to monitor soil erosion on cropland (réd.), proceedings of the 15th international symposium on remote sensing of environment, (p. 985-995). Ann. Arbor.
- Stone, r.p., hillborn, d. (2000).** Universal soil loss equation, usle. Ontario. Ministry of agriculture, food and rural affairs pp. 9.

Sudres, m. (2014). *Etude érosion sur le bassin versant du cône et sur quelques exploitations*, syndicat mixte du bassin versant du viaur.

Temple p. Et rapp a., (1972). Landslides in the mgeta area, western uluguru mountains tanzania. In : studies of soil erosion and sedimentation in tanzania. Rapp, berry et temple (eds.), geografiska annales, 54(3) : 157-194.

Tian, y.c., zhou, y.m., wu, b.f., zhou, w.f. (2009). Risk assessment of water soil erosion in upper basin of miyun reservoir, vol. 57. *Environmental geology*, beijing, china, pp. 937-942.

Tidiane, o., dubois, j.-m. M. Et hugh, q. (2003). Meh-safer : un nouveau modèle d'érosion hydrique pour les milieux semi-arides de forte énergie à partir d'images multi sources et de données auxiliaires. *Téledétection*, vol. 3., n° 2-3-4, p. 151-163.

Toth j, (1978). La fructification et la régénération naturelle du cèdre de l'atlas dans le sud de la france. Thèse. Doc.ing.faculté. Sc. Tech.jérom marseille, 156p.

Toumi, samir.(2013). *Applcation des techniques nucléaires et de la télédétection à l'étude de l'érosion hydrique dans le bassin versant de l'oued mina*. Thèse de doctorat, école nationale de l'hydraulique. P9 et 36.

Toutin, t., and gray, l., (2000). *State-of-the-art of elevation extraction from satellite sar data*. Isprs journal of photogrammetry and remote sensing, vol.55.1, february 2000, pp.13–33.

Van der knijff, j.m., jones, r.j.a. And montanarella, l. (2000). Soil erosion risk assessment in europe, eur 19044 en, 34p.

Wischmeier, w.h., smith, d.d. (1978). Predicting rainfall erosion losses. A guide to conservation planning. United states department of agriculture, agricultural research service (usda-ars) handbook no. 537. United states government printing office, washington, dc.

Yue-qing, x., jian, p. And xiao-mei, s. (2009). Assessment of soil erosion using rusle and gis : a case study of the maotiao river waterched, guizhou province, china. *Erosion geology*, vol. 56, p. 1643-1652.

Zedek, m. (1993). Contribution à l'étude de la productivité du cedrus atlantica manetti (cèdre de l'atlas) dans le parc national de theniet el had. Thèse magister. Ina. Alger, 175p

Zhang, h., yang, q., li, r., liu, q., moore, d., he, p., ritsema, c.j. & geissen, v. (2013). Extension of a gis procedure for calculating the rusle equation ls factor. *Comput. Geosci.*, 52, 177-188. [Http://dx.doi.org/10.1016/j.cageo.2012.09.027.49](http://dx.doi.org/10.1016/j.cageo.2012.09.027.49). Zhou, p., luukkanen, o., tokola, t., nieminen,

Site web:

Weather Spark : <https://fr.weatherspark.com/y/47082/Météo-moyenne-à-Theniet-el-Had-Algérie-tout-au-long-de-l'année>

Résumé :

Dans ce travail, nous utilisons un système d'information géographique (SIG) pour la spatialisation et la quantification de l'érosion hydrique à partir du modèle USLE (*Universal Soil Loss Equation*). Ce modèle est basé sur l'intégration des cartes thématiques des différents facteurs de l'Equation universelle de pertes en sol en entrée, les facteurs rentrant dans les processus d'érosion sont six , à savoir l'érosivité de la pluie (R), l'érodabilité des sols (K), l'inclinaison (S) et la longueur de la pente (L), l'occupation des sols (C) et les pratiques antiérosives pour lutter contre l'érosion des sols (P). Le site pilote retenu est le canton Pré-Benchohra est un écosystème montagneux situé au Parc National de Theniet el Had Wilaya de Tissemsilt (nord-ouest de l'Algérie). La synthèse de l'ensemble des informations dans un SIG a permis de dresser une carte de perte des sols par érosion, en tonnes par hectare par année, selon cinq degrés : très faible (> 5), faible (5-12), modéré (12-50), sévère (50-100), et très sévère (> 100). Les résultats montrent que l'intensité de l'érosion et les quantités de sédiments produits varient essentiellement en fonction de l'occupation actuelle des sols ainsi que de la nature des terrains et des pentes. Cette approche nous a permis de spatialiser un modèle local de quantification de l'érosion et de localiser les zones prioritaires pour d'éventuelles interventions d'aménagement.

Mots clés : Cartographie, Erosion hydrique, USLE, Télédétection, SIG, Theniet El Had

ملخص:

في هذا العمل، نستخدم نظام المعلومات الجغرافية (GIS) لتحديد مكان تآكل المياه وقياسه الكمي باستخدام نموذج معادلة فقدان التربة العالمية (USLE) يستند هذا النموذج إلى دمج الخرائط الموضوعية للعوامل المختلفة لمعادلة فقدان التربة المدخلة العالمية، والعوامل التي تنطوي عليها عمليات التعرية هي ستة، وهي تآكل الأمطار (R)، تآكل التربة (K)، الميل (S) وطول المنحدر (L)، واستخدام الأراضي (C)، وممارسات مكافحة التعرية لمكافحة انجراف التربة (P) الموقع التجريبي الذي تم اختياره هو منطقة Pré-Benchohra هو نظام بيئي جبلي يقع في الحديقة الوطنية لولاية ثنية الحد تيسمسيلت شمال غرب الجزائر.

أتاح توليف جميع المعلومات في نظام المعلومات الجغرافية وضع خريطة لفقدان التربة عن طريق التعرية، بالأطنان لكل هكتار سنويًا، وفقًا لخمس درجات: منخفضة جدًا (< 5)، منخفضة (5-12)، معتدلة (12-50)، شديدة (50-100)، شديدة جدًا (< 100). وتبين النتائج أن شدة التعرية وكميات الرواسب المنتجة تختلف اختلافًا أساسيًا حسب الاستخدام الحالي للأراضي وطبيعة الأرض والمنحدرات. وقد أتاح لنا هذا النهج وضع نموذج محلي للقياس الكمي للتآكل وتحديد المجالات ذات الأولوية للتدخلات الإنمائية الممكنة.

الكلمات الرئيسية: رسم الخرائط، تآكل المياه، USLE، الاستشعار عن بعد، نظام المعلومات الجغرافية، ثنية الحد

Abstract:

In this work, we use a geographic information system (GIS) to spatialize and quantify water erosion using the Universal Soil Loss Equation (USLE) model. This model is based on the integration of thematic maps of the various factors of the Universal Input Soil Loss Equation, the factors involved in the erosion processes are six , namely the erosion of rain (R), the erosion of soil (K), the inclination (S) and slope length (L), land use (C), and erosion control practices to control soil erosion (P). The pilot site chosen is the canton Pré-Benchohra is a mountainous ecosystem located in the National Park of Theniet el Had Wilaya de Tissemsilt (north-west of Algeria). The synthesis of all the information in a GIS made it possible to draw up a map of soil loss by erosion, in tonnes per hectare per year, according to five degrees: very low (> 5), low (5-12), moderate (12-50), severe (50-100), and very severe (> 100). The results show that the intensity of erosion and the amounts of sediment produced vary essentially according to current land use and the nature of the land and slopes. This approach allowed us to spatialize a local model for quantifying erosion and to locate priority areas for possible development interventions.

Keywords: Cartography, Water erosion, USLE, Remote sensing, GIS, Theniet El Had