



République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université Amar Thelidji- Laghouat
Faculté d'architecture et Génie Civil
Département de Génie Civil

MEMOIRE

Projet de Fin d'Etude
Pour l'obtention du diplôme de Master en génie civil
Option: sciences et techniques topographiques

Thème

Estimation des pertes en sol avec la méthode RUSLE et SIG sur le bassin

Versant d'ISSER

Présenté Par:

ABASSI Bilal

ZAITRI Mohamed

Devant le jury:

Mr GUIDOM Azzedine	Président	M.C.A
Mr BENCHEHEIDA Abdelkader	Examineur	M.A.A
Mr DJABALLAH Ahmed	Promoteur	M.A.A

ANNEE UNIVERSITAIRE 2017- 2018

Remerciements

La réalisation de ce travail de thèse n'aurait pas pu se faire sans l'appui de plusieurs personnes que je tiens à remercier.

En premier lieu j'adresse ma reconnaissance à mon encadreur **Mr DJABALLAH Ahmed**. Son sérieux et sa compétence m'ont été très utiles pour mener à bien ce travail. Je remercie **Mr GUIDOM Azzedine** le président du jury, **Mr BENCHEHEIDA Abdelkader**, qui m'ont fait l'honneur d'être membres du jury.

Ainsi que tous les enseignants qui m'ont enseigné le long de mon cours en Génie Civil.

Je remercie également ceux qui m'ont aidé de près ou loin à réaliser ce travail.

Dédicace

A chaque fois qu'on achève une étape importante dans notre vie, on fait une pose pour regarder en arrière et se rappeler toutes ces personnes qui ont partagé avec nous tous les bons moments de notre existence, mais surtout les mauvais. Ces personnes qui nous ont aidés sans le leur dire, soutenus sans réserve, aimés sans compter, ces personnes à qui notre bonheur devient directement le leur, à qui un malheur en nous, en eux se transforme en pleur.

Je dédie ce modeste travail en signe de reconnaissance et de respect.

- A mes parents .
- A mes frères et mes sœurs .
- A tous mes amis .

ملخص

التربة هي عنصر مهم في النظام البيئي وتعتبر امر اساسي للحياة علي الارض غير ان تاكل التربة يعتبر مشكلا كبير

في هذا العمل قمنا بدراسة ظاهرة الحت المائي بحيث هذا العمل يعتمد علي استعمال المزدوج لنظام المعلوماتي الجغرافي (SIG) و كذلك نموذج المعادلة العالمية لفقدان التربة RUSLE وذلك لانجاز الخرائط و التي توضح توزع انجراف التربة على مستوى حوض التدفق يسر من اجل اتخاذ القرارات الناجعة للحد من ظاهرة الحت المائي

الكلمات المفتاحية: الحت, انجراف التربة , نظام المعلومات الجغرافية, RUSLE.

Summary

Soil is an important element of the ecosystem and essential for life, but soil erosion is a major problem. In this work we studied the phenomenon of water erosion so this work depends on the dual use of Geographic Information System (SIG) and also the RUSLE sample (Global equation for soil loss) to make maps showing the expansion of the phenomena on the ISSER watershed to get the effective decisions.

Key Word: GIS, RUSLE, soil erosion, sol losses.

Sommaire

Le sol est un élément important dans l'écosystème et est considéré comme essentiel pour la vie sur terre, mais l'érosion des sols est un problème majeur Dans ce travail, nous avons étudié le phénomène de l'érosion hydrique de sorte que ce travail dépend de la double utilisation du système d'information géographique (SIG) RUSLE ainsi que le modèle (l'équation globale pour la perte de sol) afin d'établir des cartes de répartition des pertes en sols sur le bassin versant d'ISSER pour une prise de décision efficace.

Mots clés : SIG, RUSLE, érosion hydrique, pertes en sol,

Table des matières

Remerciement.....	I
Résumé.....	II
Table des matières.....	III
List des tableaux	IV
List des figures.....	VI
Liste d'abréviation.....	VII
Introduction générale.....	IX
Chapitre I :notions sur l'érosion hydrique	
I.1. L'érosion	2
I.1.1. Généralités	2
I.1.2.Définition.....	2
I.2. Situation de l'érosion hydrique en Algérie	2
I.3 . les formes et les causes de l'érosion.....	3
I.3.1 les formes	3
I.3.1.1 les formes l'érosion en nappe	3
I.3.1 .2. Les formes l'érosion par le vent.....	4
I.3.1 .3 les formes d'érosion linéaire.....	5
I.3.1.4. L'érosion hydrographique.....	6
I.3.1.5 l'érosion en masse.....	6
I.3.2. Les causes de l'érosion.....	7
I.3.2.1. La pente des terrains.....	7
I.3.2.2. Le climat.....	7
I.3.2.3. La texture des sols.....	7
I.3.2.4. Le couvert végétal.....	8
I.4. Origine et mécanisme	9

I.4.1 érosion par l'impact (splash).....	9
I.4.1.1. Le détachement.....	9
I.4.2. Le ruissellement.....	11
I.4.2.1 le transport.....	12
I.4.2.2. La sédimentation.....	12
I.5. Les conséquences de l'érosion.....	12
I.5.1. Diminution du potentiel agronomique.....	12
I.5. 2. Inondations et coulées de boue	13
I.5. 2.a. Les coulées de boue	13
I.5. 2.b. Augmentation de l'intensité des crues des rivières.....	13
I.5. 3. Dégradation des milieux naturels.....	13
I.5. 3.a. Impacts sur les cours d'eau	13
I.5. 3.b. Impacts sur les marais.....	13
I.6. Les actions pour lutter contre l'érosion.....	14
I.6. 1. Stratégies traditionnelles de lutte anti-érosive.....	14
I.6.1 .a/ culture itinérante sur brûlis.....	14
I.6.1 .b/ terrasses en gradins et les terrasses méditerranéennes sur murettes en pierres.....	14
I.6.1.c/ billons, les cultures associées et l'agroforesterie.....	15
I.6.1.d/ alignements de pierre et les murettes combinés à l'entretien de la fertilité par la fumure organique.....	15
I.6.2. Stratégies modernes d'équipement hydraulique.....	15
I.6.2. A. Restauration des terrains en montagne (RTM).....	15
I.6.2.b. Conservation de l'eau et des sols (CES).....	15
I.6.2. C. Défense et restauration des sols (DRS)	16
I.6.2. D. Gestion conservatoire de l'eau, de la biomasse et de la fertilité des sols (GCES).....	16
I.7 . Conclusions.....	17

Chapitre II :Méthode d’Estimation de pertes en sol RUSLE

II.1.introduction.....	19
II .2. le modèle (RUSLE)	19
II .3. Définitions l'équation universelle de perte de sol (RUSLE) l'équation universelle de perte de sol.....	20
II .3.1. Taux d'érosion potentielle (UHA) A.....	20
II .3.2. Facteur de pluviosité et de ruissellement (R).....	20
II.3.2.1.but de calcul de R.....	22
II .3.2.2. Variables affectant le facteur R.....	22
II .3.3. Facteur d'érodabilité du sol (K).....	23
II.3.3.1.but de calcul de K.....	24
II.3.3.2. Variables affectant le facteur K.....	24
II.3.4 facteur d'inclinaison (LS).....	24
II .3.4.1.but de calcul de LS.....	25
II .3.4.2.variables affectant le facteur LS.....	25
II .3.5. Facteur de culture/végétation et de gestion (C).....	26
II .3.5.1.but de calcul de C.....	26
II .3.5.2. Variables affectant le facteur C.....	26
II .3.6. Facteur de conservation (P).....	27
II .3.6.1.but de calcul de P.....	27
II .3.6.2. Variables affectant le facteur P.....	27
II .4. Organigramme générale.....	28

Chapitre III : les pertes en sol sur le bassin versant d'ISSER

III.1. Introduction.....	31
III.2. Présentation de la zone d'étude.....	31
III.2.1. Géographie.....	31
III.3. données et méthodes.....	32

III.3.1.Préparation, nettoyage et complèment des données.....	33
III.3.1.1.Données pluviométriques (Facteur R).....	33
III.3.1.2.Facteur LS topographie.....	37
III.3.1.3.Facteur K d'érodibilité du sol.....	38
III.3.1.4. Facteur C couverte végétale du sol.....	40
III.3.1.5. Facteur P conservation des sols.....	41
III.4. les pertes en sol A	41
III.5. Conclusion.....	43
Conclusion générale.....	44
Bibliographie.....	45

Liste des tableaux

1. Tableau I.1. Les formes d'incision dues à l'érosion linéaire	6
2. Tableau I.2. Formes de dégradation et d'érosion, causes, facteurs de résistance du milieu.....	7
3. Tableau II.1. Formules utilisées pour l'estimation du facteur R	17
4. Tableau III.1. les données utilisées	27
5. Tableau III.2. Facteur R par stat.....	29
6. Tableau III.3. extrait de HWSD sur le bassin versant d'ISSER.....	32
7. Tableau III.3. calcul du facteur K.....	32

Liste des figures

Figure I.1. Erosion en nappe	3
Figure I.2. Erosion par le vent.....	3
Figure I.3. Processus de ravinement en relation avec leur typologie.....	4
Figure I.4 Erosion hydrographique dans le lit d'une rivière en période estivale.....	5
Figure I.5. Erosion en masse	5
Figure I. 6 . Etapes , origine et mécanisme.....	8
Figure I. 7 . état de sol	9
Figure I. 8. Le détachement.....	9
Figure I.9. Vue sur des billons.....	13
Figure I.10. DRS en pente sur bassin versant.....	14
Figure III.1. Plan de situation du BV de ISSER.....	27
Figure III.2 Droite exprimant Y en fonction de X.....	28
Figure III.3 Carte de l'érosivité des pluies (R) dans le bassin versant de ISEER.....	30
Figure III.4 Carte du facteur topographique (LS) dans le bassin versant de ISSER.....	31
Figure III.5 Carte de l'érodibilité des sols (K) dans le bassin versant de ISSER.....	33
Figure III.6 Carte de couverture végétale (C).....	34
Figure III.7 Carte des pertes en sols du bassin versant d'ISSER.....	37

Liste d'abréviation

FAO : Food and Agriculture Organization

AREASSN : l'Association Régionale d'Etude pour l'Amélioration des Sols en Seine Normandie

LAE : Laboratoire de recherche : Architecture et Environnement

RTM : Restauration des Terrains en Montagne

CES : Conservation de l'Eau et des Sols

DRS : Défense et Restauration des Sols

GCES : Gestion Conservatoire de l'Eau, de la biomasse et de la fertilité des Sols

RUSLE: Revised Universal Soil Loss Equation

MNT : Modèle Numérique de Terrain

SIG : Système d'information Géographique

SRTM : Shuttle Radar Topography Mission

DSMW: Digital Soil Map of the World

INTRODUCTION GENERALE

L'érosion est un phénomène très complexe, faisant intervenir plusieurs paramètres à pris beaucoup d'ampleur en algérien et menace tous les jours , les terres agricoles, les infrastructure hydrauliques, par l'arrachage, l'affouillement, le transport et le dépôt des sédiment créant des exhaussements de lits d'oueds, des sapements de berges, des inondations et envasement de barrages, qu'il est parfois quasi-impossible de remédier. L'érosion hydrique pose de graves problèmes sociaux, poussant la population à l'exode rural, en réduisant la surface agricole utile et en alluvionnant le oueds entretenues .Il continue à prendre des proportions considérables en particulier sur les pentes à cause de la torrencialité des pluies, de la forte vulnérabilité des terrains (roches tendre ; sols fragiles ;pentes raides et couvert végétal souvent dégradé) et de l'impact défavorable des activités agricoles, selon la FAO (1990), la situation continue à se dégrader ; En Tunisie 45% de la superficie totale est menacée par l'érosion hydrique , au Maroc 40% et en l'Algérie 45% des zones telliennes sont touchées , soit 12 millions d'hectares.

A cet effet et pour l'étude et le suivi de ce phénomène , une gammes des méthodes ont été développé afin de prédire et quantifier l'ampleur de ce risque, parmi eux et la plus populaire est celle développée par WISHMEIR en 1958 (la méthode RUSLE), pour la quantification et la prédiction des pertes en sols sur un bassin versant . A travers le modèle RUSLE (équation Universelle Révisée de Perte en Sol) dont les paramètres ont été essentiellement estimés par l'utilisation des SIG et des images de la télédétection. Cette méthodologie a permis d'établir la carte des zones vulnérables à l'érosion, de reconnaître les facteurs initiateurs du risque d'érosion à l'échelle du bassin versant d'ISSER .

Afin d'arriver à estimer les pertes en sol (érosion hydrique) au niveau de bassin versant d'ISSER , on a passé par le calcul de chaque paramètre de l'équation (R, K, LS ,C et P), le calcul des ces paramètres nécessite l'utilisation des données multi-sources , multi-date et multi-formats, cette combinaison des données n'est sera assurer que dans les SIG, et pour concrétiser ces paramètres et le modèle RUSLE , on à organiser notre travail comme suite :

- Un **premier chapitre** consacré au notions sur les différentes type d'érosion et ses mécanismes.
- Un **deuxième chapitre** présente la méthode d'estimation des pertes en sols , la plus utilisée et détaille ses paramètre, finalisé par l'organigramme suivi lors la réalisation de ce travail

- Le **troisième chapitre** présente les résultats de notre travail : les différentes cartes , carte de facteur d'érosivité R , carte d'érodibilité K facteur topographique LS et finalement le facteur couverte végétale .

Chapitre I

Notions sur l'érosion hydrique

I.1. L'érosion**I.1.1. Généralités**

Les études récentes sur la vulnérabilité au changement climatique dans la région méditerranéenne indiquent une tendance à un accroissement à l'aridité qui accélère l'érosion hydrique **(Shabban et al, 1998)**.

L'érosion des sols par la pluie et le ruissellement est un phénomène largement répandu dans les différents pays de la méditerranée. Il continue à prendre des proportions considérables en particulier sur les pentes à cause de la torrencialité des pluies, de la forte vulnérabilité des terrains (roches tendre ; sols fragiles ; pentes raides et couvert végétal souvent dégradé) et de l'impact défavorable des activités agricoles, selon la FAO (1990), la situation continue à se dégrader ; En Tunisie 45% de la superficie totale est menacée par l'érosion hydrique **(Chevalier, 1995 ; Boussama, 1996)** , au Maroc 40% **(Celik, 1996)** et en l'Algérie 45% des zones telliennes sont touchées , soit 12 millions d'hectares **(Chebbani, 1999)**.

I.1.2. Définition

Erosion vient de "ERODERE", verbe latin qui signifie "ronger". L'érosion ronge la terre comme un chien s'acharne sur un os. D'où l'interprétation pessimiste de certains auteurs qui décrivent l'érosion comme une lèpre qui ronge la terre jusqu'à ne laisser qu'un squelette blanchi: les montagnes calcaires qui entourent la Méditerranée illustrent bien ce processus de décharnement des montagnes dès lors qu'on les défriche et que l'on brûle leur maigre végétation (ex. Grèce). En réalité, c'est un processus naturel qui certes, abaisse toutes les montagnes (d'où le terme de "dénudation rate", vitesse d'abaissement du sol des géographes anglophones) mais en même temps, l'érosion engraisse les vallées, forme les riches plaines qui nourrissent une bonne partie de l'humanité. Il n'est donc pas forcément souhaitable d'arrêter toute érosion, mais de la réduire à un niveau acceptable tolérable.

C'est aussi l'ensemble des actions chimique et organique qui aboutit à la destruction des roches et au nivellement progressif du terrain plus simplement; l'érosion est l'usure de la partie superficielle de l'écorce terrestre, l'eau et le vent sont les principaux agents naturels **(Greco 1966)** .

L'érosion est un phénomène naturel qui affecte l'ensemble de la couverture terrestre géo pédologique et c'est l'un des facteurs important de formation et l'évolution des milieux naturels **(Dutil, 1984)** .

I.2. Situation de l'érosion hydrique en Algérie

L'érosion est un problème dont la gravité varie beaucoup d'un site à un autre a montré au congrès de l'Association Internationale des Sciences du Sol à New Delhi que sur 13.500 millions d'hectares de surface exondées dans le monde, 22 % sont cultivables et seulement 10 % sont actuellement cultivés (soit 1.500 millions d'ha). Ces dix dernières années, les pertes en

terres cultivables ont augmenté jusqu'à atteindre 7 à 10 millions d'ha/an, suite à l'érosion, à la salinisation ou à l'urbanisation. A ce rythme, il faudrait trois siècles pour détruire toutes les terres cultivables. L'érosion est donc un problème sérieux à l'échelle mondiale mais il est bien plus préoccupant dans certaines régions du monde, comme c'est le cas au Magreb et plus particulièrement en Algérie. **(BOUAICHAOUI et Nadia MEKID Tounes ;2017)**

I.3 - les formes et les causes de l'érosion

Il est important de bien distinguer les formes que prend l'érosion parce qu'à chacune d'elles correspondent des processus et des sources d'énergie différentes dont il faudra tenir compte pour organiser la lutte antiérosive.

I.3.1 les formes

I.3.1.1 l'érosion en nappe

Elle est caractérisée par une eau de ruissellement sans griffes ou rigoles visibles. Sous l'effet de l'impact des gouttes de pluies (effet splash), les particules sont arrachées et transportées. Ce phénomène est observé sur les pentes faibles où l'eau ne peut pas se concentrer **(MOKHTARI ELHADJ ;2009)**.

Dans un premier temps, c'est l'impact des gouttes qui va arracher les particules. La battance des gouttes de pluie va envoyer des gouttelettes dans toutes les directions. Seulement, sous l'effet de la gravité les gouttelettes auront une vitesse plus importante vers l'aval que vers l'amont. Si l'on réalise une moyenne sur l'ensemble des gouttelettes, la vitesse sera dirigée de l'amont vers l'aval. A partir de là, il y aura formation de flaques et débordement de l'eau non infiltrée d'une flaque à l'autre ce qui entraînera un ruissellement en nappe **(MOKHTARI ELHADJ ;2009)**.

L'érosion en nappe dépend de:

- L'intensité maximale des pluies qui déclenchent le ruissellement
- L'énergie cinétique des pluies qui détachent les particules
- La durée des pluies et/ou l'humidité avant les pluies, c'est à dire l'état du sol.

Les signes qui permettent de caractériser l'érosion en nappe sont l'apparition de plages de couleur claire aux endroits les plus décapés et la remontée de cailloux à la surface du sol, les conséquences de l'érosion en nappe sont:

- Le nivellement de la surface du sol.
- La squelettisation des horizons superficiels.
- Le décapage entraînant l'apparition de taches claires **(MOKHTARI ELHADJ ;2009)**.



Figure I.1: Erosion en nappe

I.3.1 .2. L'érosion par le vent (éolienne)

Elle peut prendre deux formes :

- les nuages de fines poussières ($\Phi < 0,1$ mm) en suspension stable qui peuvent circuler à haute altitude sur des milliers de kilomètres.

- les vents de sable (Φ médian de 0,1 à 0,5 mm) qui transportent au ras du sol par rotation ou par saltation des suspensions grossières instables qui construisent diverses formes d'accumulation (depuis les petites buttes piégées dans les touffes des plantes pérennes jusqu'aux dunes majestueuses). Les phénomènes d'érosion éolienne ne peuvent se manifester de façon importante que sur sol nu peu rugueux, peu cohérent (nappes sableuses remaniées) dans des régions où les précipitations annuelles moyennes sont inférieures à 600 mm, où la saison sèche dure plus de 5 mois et/ où les vents soufflent à plus de 20 km/heure (**E. ROOSE 1985**).



Figure I.2: Erosion par le vent

I.3.1 .3 l'érosion lineaire

Elle se manifeste lorsque la concentration des eaux conduit à la formation de chenaux de dimension croissante : griffes (quelques centimètres de profondeur), rigoles (incision dans la couche labourée), ravines (incision dépassant la couche labourée) (Chebbani et al. ;1999).

Il y a deux type d'érosion linéaire :

a- Erosion en griffes et rigoles

Elle se produit lorsque l'écoulement d'eau se concentre et choisit son passage. Dès qu'une griffe s'établit, l'eau de ruissellement tend à se réunir, et plus elle se creuse plus il y a appel d'eau dans la rigole. Ainsi le phénomène de creusement s'accélère de lui-même. De point de vue quantitatif, ce type d'érosion reste dans les mêmes proportions que l'érosion en nappe (Chebbani et al. ;1999).

b- Erosion par ravinement

Les ravines suivent la ligne de plus grande pente des versants. Puisque le ruissellement provenant des versant peut atteindre 50 à 80% durant les averses exceptionnelles tombant sur les terres battues ou compactées, l'essentiel du transport solide provient des ravines et des oueds. Lorsque le sol est peu perméable, saturé et peu couvert, le ruissellement est abondant. Ce dernier creuse des ravines et augmente les pointes de crue des oueds, ce qui favorise le sapement des berges et les glissements de terrain, et par conséquent l'envasement des barrages, la destruction des infrastructures et la dégradation des terres.

En Algérie, l'érosion ravinant a déplacé 90 à 300 t. ha-1an-1 des terres , ce qui correspond à une vitesse d'altération des versants de 8 à 17 mm.an-1 (Chebbani et al. ; 1999).

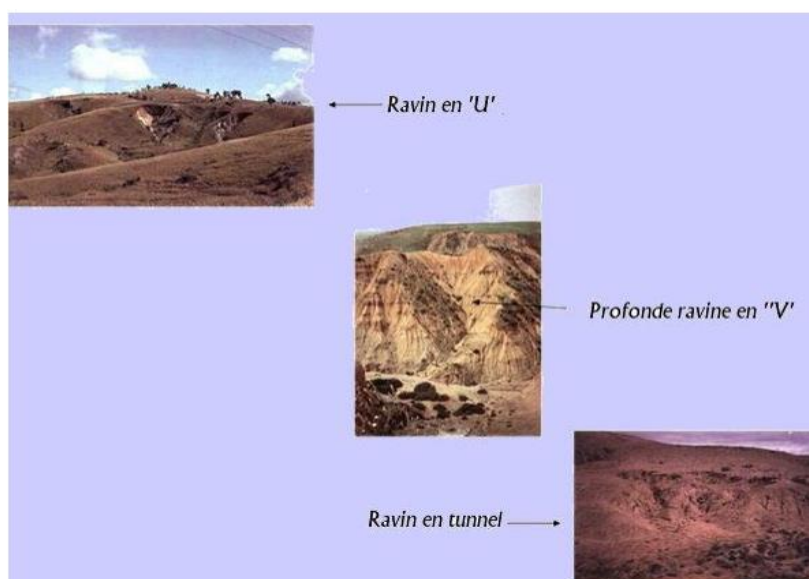


Figure I.3. Processus de ravinement en relation avec leur typologie (<http://www.ma.auf.org/erosion/chapitre1/i.origine.html>).

I.3.1.4. L'érosion hydrographique :

C'est une forme d'érosion due à la dissipation de l'énergie de l'eau dans les lits des cours d'eau et les rivières. L'énergie de ces dernières est capable, de manière régulière ou accidentelle (lors des inondations) d'emporter une partie des berges. On appelle ce processus le sapement des berges. Il se produit également dans les ravins en formation lorsque l'eau du ruissellement attaque les assises du ravin. Ce type d'érosion est étroitement lié au volume et à la vitesse de l'eau, qui dépend de la pente et du débit.



Figure I.4 Erosion hydrographique dans le lit d'une rivière en période estivale

I.3.1.5 l'érosion en masse :

Alors que l'érosion en nappe s'attaque à la surface du sol, le ravinement aux lignes de drainage du versant, les mouvements de masse concernent un volume à l'intérieur de la couverture pédologique. On attribue à l'érosion en masse tout déplacement de terre selon des formes non définies, comme les mouvements de masse, les coulées de boue et les glissements de terrain. Dans ce cas, seul l'état dispose des moyens techniques, financiers et légaux, pour maîtriser les problèmes de glissement de terrain, souvent catastrophiques, et pour imposer des restrictions d'usage aux terres soumises à des risques majeurs de mouvement de masse :



Figure I.5: Erosion en masse (<http://www.ma.auf.org/erosion/chapitre1/ii.formes.html>)

Tableau I.1. Les formes d'incision dues à l'érosion linéaire
(<http://www.ma.auf.org/erosion/chapitre1/ii.formes.html>)

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

I.3.2. Les causes de l'érosion

De multiples facteurs rentrent en jeu dans le mécanisme d'érosion des sols. De ce fait, les phénomènes d'érosion sont très évolutifs dans l'espace et dans le temps. Il est difficile de localiser de manière définitive les zones à risques, et de prévoir de façon certaine les périodes dans l'année où ce phénomène va se produire. Le risque d'érosion des sols est tout d'abord dépendant d'un certain nombre de facteurs naturels et donc difficilement maîtrisables :

I.3.2.1. La pente des terrains

Le relief influence inévitablement la vitesse de ruissellement des eaux sur une parcelle. Plus cette vitesse sera élevée, plus l'arrachement des particules de terre sera important. D'après l'AREASSN (France), les risques d'érosion des sols en fonction de la pente sont évalués de la façon suivante :

entre 0 et 1% : ruissellement des eaux mais sans érosion

entre 1 et 3% : érosion diffuse et formation de rigoles

entre 3 et 5% : érosion forte avec ravinement plus de 5% : érosion très forte avec ravinement profond. Ces chiffres sont bien sûr à relativiser en fonction du type de sol. (**LES GUIDES TECHNIQUES DU PARC (novembre ; 2003)**).

I.3.2.2. Le climat

La pluie est sans aucun doute le facteur principal de l'érosion, qui dépendra alors de la durée et de l'intensité des précipitations. (**LES GUIDES TECHNIQUES DU PARC (novembre ; 2003)**).

I.3.2.3. La texture des sols

Les sols limoneux ou affinés de manière excessive sont plus propices au phénomène d'érosion, ces sols sont en effet plus favorables au phénomène de battance. En effet, sous l'impact des gouttes de pluie, les mottes de terre de ces sols éclatent et se désagrègent en fines particules, c'est l'effet splash. Ces particules très fines de terre ont alors tendance à se compacter à la surface du sol pour former une croûte, c'est la croûte de battance qui réduit l'infiltration de l'eau et favorise le ruissellement. Elle a également des conséquences agronomiques car elle empêche la bonne germination, la levée des graines et la croissance des plantes (**LES GUIDES TECHNIQUES DU PARC (novembre ; 2003)**).

I.3.2.4. Le couvert végétal

Un bon couvert végétal limite l'érosion en dissipant l'énergie de pluie; favorise l'infiltration et s'oppose à toutes les formes d'érosions. L'occupation des terres est en rapport direct avec les activités humaines qui sont l'agriculture, l'élevage, les exploitations minières, l'abatage du bois, la construction des routes et l'urbanisation vu la suppression de la végétation, entourant sur les phénomènes d'érosion(Benaicha,A ;2011).

- L'homme peut être à l'origine de déclenchement et de l'accélération de l'érosion par des actions telles :

- Défrichement de la forêt.
- Incendie et surpâturage.
- Techniques culturales.(Ammari,A ;2012).

Tableau I.2. Formes de dégradation et d'érosion, causes, facteurs de résistance du milieu(Roose, 1994).

Les processus de dégradation et d'érosion et leurs formes	Les causes : différentes sources d'énergie	Les facteurs de résistance du milieu
Erosion mécanique sèche Forme : creeping	Gravité et poussée par les outils de travail du sol	- fonction de l'intensité du travail du sol, c'est-à-dire de la fréquence des travaux et du type d'outil - fonction de la pente et de la cohésion du terrain
Erosion en nappe Forme: nappe de sable, pellicule de battance ou de sédimentation, " micro-falaise	Battance des gouttes de pluie	- le couvert végétal, - la pente, - le sol, - les techniques et structures anti-érosives
Erosion linéaire Formes: griffes, rigoles, ravines	L'énergie du ruissellement dépend du volume du ruissellement et de sa vitesse au carré $1/2MV^2 = 1/2MGH$	- la vitesse du ruissellement est fonction de la pente et de la rugosité, - le volume ruisselé est fonction de la surface du bassin versant et de la capacité d'infiltration, - résistance du profil du sol et des racines

I.4. Origine et mécanisme

L'érosion hydrique est un phénomène complexe, qui menace particulièrement les potentialités en eau et en sol. Elle se définit comme le détachement et le transport de particules de sol de son emplacement d'origine par différents agents vers un lieu de dépôt. Donc, les trois étapes par lesquelles passe l'érosion sont le détachement, le transport et la sédimentation. Cependant, il est à signaler que la pluie et le ruissellement superficiel sont à l'origine du détachement, du transport et du dépôt des particules du sol arrachées comme schématisé dans la figure suivante (<http://www.ma.auf.org/erosion/chapitre1/i.origine.html>).

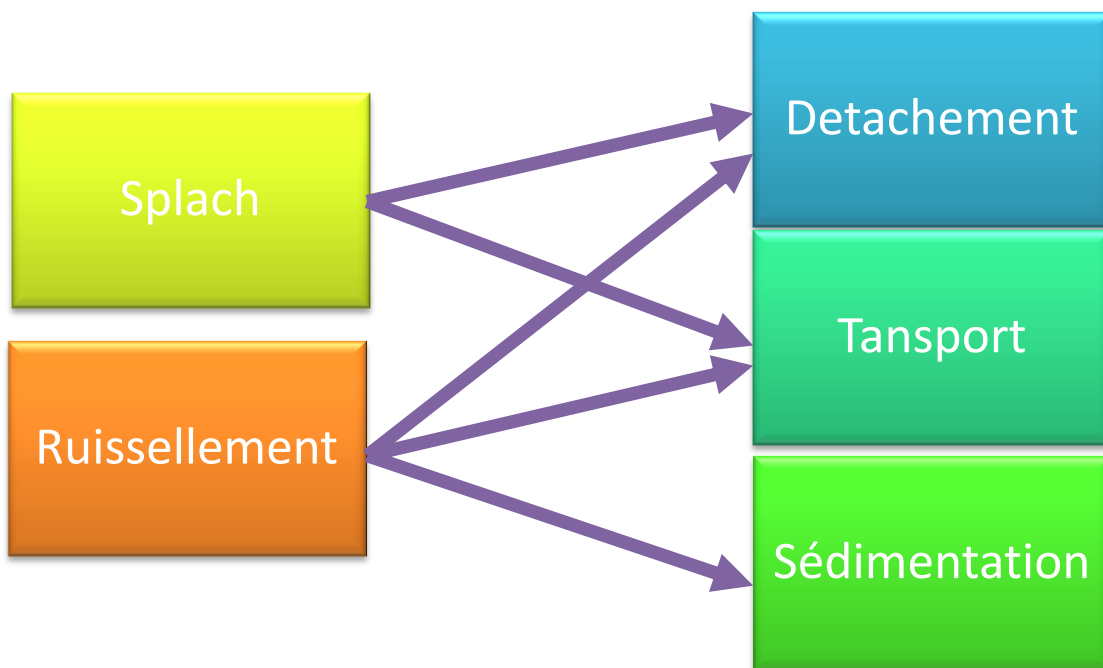


Figure I. 6 : Etape de origine et mécanisme
(<http://www.ma.auf.org/erosion/chapitre1/i.origine.html>).

I.4.1 Erosion par l'impact (splash)

Les sols subissent un choc considérable causé par les gouttes de pluie. Les premières gouttes s'infiltrent dans le sol d'autant plus aisément, cette première phase s'accompagne d'un déplacement des particules, lorsque la couche superficielle s'humidifie, trois processus se développent simultanément. La dégradation de la structure:

- La formation d'une pellicule de battance;
- L'érosion par splash ou érosion par rejaillissement (Hadidi ,A ;2008).

I.4.1.1. Le détachement

Les principaux mécanismes conduisant au détachement sont :

- L'humectation par l'effet de l'impact de gouttes de pluies :

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

a/ L'éclatement, correspondant à la désagrégation par compression de l'air piégé lors de l'humectation. L'intensité de l'éclatement dépend entre autres, du volume d'air piégé, donc de la teneur en eau initiale des agrégats et de leur porosité

(<http://www.ma.auf.org/erosion/chapitre1/i.origine.html>).

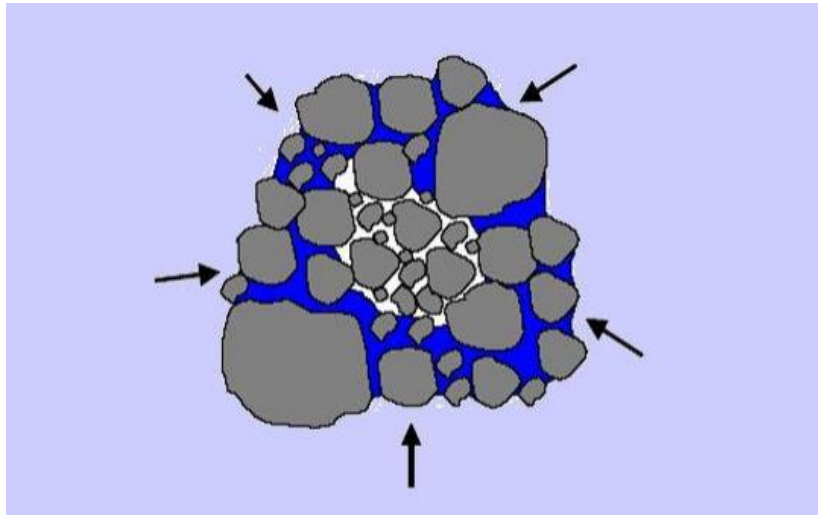


Figure I. 7 : état de sol .

b/ Le gonflement différentiel. Ce phénomène intervient suite à l'humectation et la dessiccation des argiles, entraînant des fissurations dans les agrégats. L'importance de ce mécanisme dépend en grande partie de la teneur et de la nature de l'argile des sols.

c/ La dispersion physico-chimique. Elle correspond à la réduction des forces d'attraction entre particules colloïdales lors de l'humectation. Elle dépend de la taille et la valence des cations (particulièrement du sodium) pouvant lier les charges négatives dans le sol.

d/ La désagrégation mécanique sous l'impact des gouttes de pluie (= Détachement par splash). L'impact des gouttes de pluie peut fragmenter les agrégats et surtout détacher les particules de leur surface. Ce mécanisme intervient en général conjointement aux autres mécanismes cités précédemment et nécessite une pluie d'une certaine énergie qui est variable selon les sols. L'énergie cinétique des gouttes n'est plus absorbée mais est transformée en force de cisaillement qui provoque détachement et splash.

(<http://www.ma.auf.org/erosion/chapitre1/i.origine.html>).

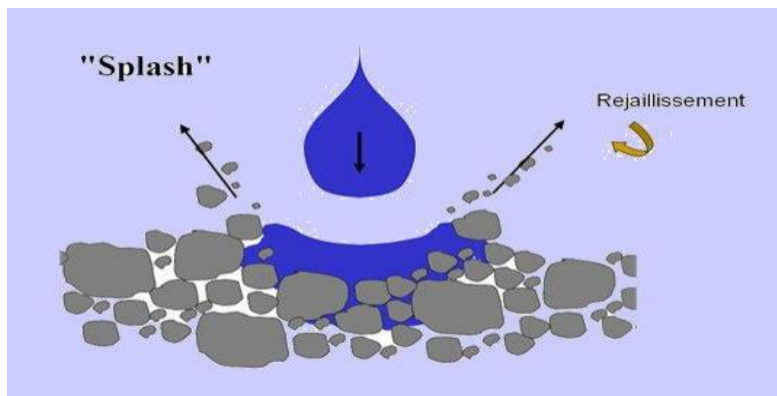


Figure I. 8. Le détachement

I.4.2. Le ruissellement

L'écoulement d'une lame d'eau est un moteur essentiel de l'érosion. Il détache, transporte et exporte des fragments de sol. Le ruissellement superficiel peut être généré par trois processus distincts (**Ambroise, 1999**) : le ruissellement par dépassement de la capacité d'infiltration, le ruissellement par saturation du sol en profondeur et le ruissellement par exfiltration

Le ruissellement par dépassement de la capacité d'infiltration (excess infiltration over land) est appelé également ruissellement hortonien. Il se produit quand la capacité d'infiltration du sol (ou in filtrabilité) est inférieure à l'intensité des précipitations. L'excès de pluie qui ne peut s'infiltrer stagne alors en surface, puis ruisselle le long des versants. C'est l'état de la surface du sol qui détermine l'infiltrabilité de tout un profil. Ceci explique pourquoi des intensités de pluie inférieures à l'infiltrabilité d'un profil peuvent néanmoins provoquer du ruissellement. Le ruissellement hortonien est notamment favorisé sur les sols nus par la formation d'une croûte de battance qui apparaît rapidement sous l'impact des gouttes de pluie. Il peut également apparaître très localement sur les parcelles cultivées dans les traces laissées par les engins agricoles qui compactent le sol.

Le ruissellement sur une surface saturée (saturated over land flow) est appelé aussi ruissellement de zone contributive ou ruissellement de source à surface variable. Il se produit sur les zones généralement hydromorphes (fond de vallon humide, marais) où le sol est gorgé d'eau. Toute la porosité du sol est alors occupée par de l'eau. L'eau ne peut pas s'infiltrer et ruisselle en surface. Contrairement au ruissellement hortonien, la genèse de ce ruissellement est indépendante de l'intensité des pluies. Elle dépend du cumul des pluies et des conditions du milieu. Les surfaces saturées se forment en hiver, lors de la remontée des nappes phréatiques proches de la surface du sol, au cours de longues périodes pluvieuses. Elles se contractent ensuite. Les sols présentant un horizon imperméable, par exemple une semelle de labour, génèrent aussi ce type de ruissellement puisqu'ils sont plus rapidement saturés en eau que les sols perméables sur tout leur profil.

Le ruissellement par exfiltration est un cas plus rare s'expliquant par la saturation du profil de sol par le bas suite à la présence d'une source ou d'une nappe. Le flux en excès s'écoule alors par la surface donnant lieu à du ruissellement, sans qu'il n'y ait obligatoirement de

précipitations. L'exfiltration survient notamment dans les talwegs concaves. Pendant les périodes humides, du fait de la remontée des nappes, on observe une extension progressive des zones d'émergence des nappes d'eaux souterraines (**BOUGHALEM KASMI Mostafia ;2013**)

I.4.2.1 Le transport

Il est dû à la fois aux gouttes d'eau de pluie (par rejaillissement= effet splash) et aux eaux de ruissellement. Ainsi, le transport est assuré par ces eaux. Cependant, il est à signaler que le mode de transport par effet splash est généralement négligeable sauf sur pente forte. Alors que les eaux de ruissellement sont les plus responsables du transport des particules du sol détachées(<http://www.ma.auf.org/erosion/chapitre1/i.origine.html>).

I.4.2.2. La sédimentation

L'agent responsable de la sédimentation est l'eau de ruissellement. Les particules arrachées du sol se déposent entre le lieu d'origine et l'aval en fonction :

1. de leur dimension
2. de leur densité
3. de la capacité de transport du ruissellement ou du cours d'eau.

Les particules se déposent dans l'ordre suivant :

- sable
- sable fin
- limon.

Les argiles et l'humus colloïdal sont généralement transportés jusqu'à l'embouchure du cours d'eau où il se dépose soit après évaporation de l'eau, soit après floculation. (<http://www.ma.auf.org/erosion/chapitre1/i.origine.html>).

I.5. LES conséquences de l'érosion

I.5.1. Diminution du potentiel agronomique

Les premiers dégâts causés par l'érosion des sols concernent directement les agriculteurs. Sur le terrain, l'impact est parfois très visible et assez spectaculaire. Sur un plan économique, les conséquences peuvent être lourdes du fait d'une diminution sensible des rendements.

- ✓ La destruction des semis.
- ✓ Une perte du capital sol.
- ✓ Une gêne pour les travaux agricoles.
- ✓ L'hétérogénéité des parcelles (**Zouaoui Oum Elkheire Adda benziane Yakout ;2017**).

I.5. 2. Inondations et coulées de boue**I.5. 2.A. Les coulées de boue**

L'érosion, bien qu'elle se produise sur les terrains agricoles, peut avoir des conséquences directes sur les habitants. En effet, elle peut être à l'origine de violentes coulées de boue touchant les villes et villages situés en fond de vallée. Ces coulées de boue sont le résultat de l'accumulation des eaux de ruissellement et de la terre décrochée des terrains agricoles, et peuvent provoquer des dégâts notables sur la voirie (obstruction des voiries, sapement des chaussées, colmatage des réseaux d'eaux pluviales) et sur les habitations **(Zouaoui Oum Elkheire et Adda benziane Yakout ;2017)**.

I.5. 2.B. Augmentation de l'intensité des crues des rivières

L'envasement du cours d'eau consécutif à l'érosion des sols gêne le bon écoulement hydraulique et augmente ainsi les risques de débordement des rivières. Lors de fortes pluviométries, toutes les eaux de ruissellement de la vallée terminent leur course dans la rivière, qui représente leur exutoire naturel, et viennent donc augmenter l'ampleur de la crue **(Zouaoui Oum Elkheire et Adda benziane Yakout ;2017)**.

I.5. 3. Dégradation des milieux naturels**I.5. 3.a. Impacts sur les cours d'eau**

L'envasement du lit des cours d'eau gêne le bon écoulement hydraulique, et augmente les risques de débordement en amont. Les travaux de curage habituellement réalisés pour restaurer la section du lit sont coûteux et dégradent fortement la biodiversité aquatique. Enfin, l'envasement des estuaires qui découle du charriage des sédiments par les cours d'eau porte également atteinte à la productivité piscicole marine **(Zouaoui Oum Elkheire et Adda benziane Yakout;2017)**.

I.5. 3.b. Impacts sur les marais

Les marais constituent l'arrivée massive des sédiments et la dégradation de la qualité de l'eau qui en découle menacent directement les populations animales et végétales aquatiques, sources alimentaires d'autres espèces. Pour ces dernières, cette baisse quantitative de ressources alimentaires disponibles aboutit à une diminution de leurs effectifs et peut aller jusqu'à leur complète disparition du milieu **(Zouaoui Oum Elkheire et Adda benziane Yakout ;2017)**.

I.6- Les actions pour lutter contre l'érosion**I.6. 1. Stratégies traditionnelles de lutte antiérosive****I.6.1 .A/ Culture itinérante sur brûlis**

est probablement la plus ancienne stratégie utilisée sur tous les continents pour maintenir la productivité de la terre. Cette stratégie ne s'applique que sur des terres peu peuplées (moins de 20 à 40 habitants au kilomètre carré).

I.6.1 .B/ Terrasses en gradins et les terrasses méditerranéennes sur murettes en pierres

Se sont développées 2 000 ans avant J.-C., en Asie. Ces terrasses sont apparues là où la population est dense, les terres cultivables rares et le travail bon marché. Comme ces aménagements exigent un gros effort pour la construction des terrasses (700 à 1 200 hommes. Jours/ha), pour l'entretien des talus et la restauration de la fertilité des sols remués, il faut que la production soit rentable ou vitale. Ces améliorations foncières ne sont acceptées que là où les paysans n'ont plus d'autre choix pour subsister (pressions foncières, militaires, religieuses ou économiques) ou pour produire des cultures particulièrement rentables.

Ce sont les aménagements les plus connues et les plus utilisées par les agriculteurs. Ce sont des constructions qui arrivent à casser la pente. Ces terrasses tirent leur nom de la forme qu'elles donnent au versant lorsque celui-ci est totalement aménagé. Les successions de terrasses prennent en effet la forme d'un escalier ou de gradins. Ces terrasses, accrochées au versant, doivent s'adapter à la pente de celui-ci : lorsque la pente augmente les terrasses rétrécissent tandis que le mur (ou le talus) de soutènement prend de la hauteur.

Il existe plusieurs possibilités pour construire ce type de terrasses. Cela dépend de la profondeur du sol, de l'espace disponible et de la quantité de cailloux présents sur le terrain.

I.6.1.C/ Billons, les cultures associées et l'agroforesterie

Ce type d'aménagement est bien présenté dans l'image ci-dessous .



Figure I.9. Vue sur des billons.

I.6.1.D / Alignements de pierre et les murettes combinés à l'entretien de la fertilité par la fumure organique

Les murettes sont des petits murs construits en pierres sèches (sans ciment ni enduit) selon les courbes de niveau. Elles permettent à la fois de débarrasser les parcelles des pierres qui handicapent leur valorisation, de réduire le ruissellement et sa vitesse et de piéger les sédiments transportés. Sur les pentes moyennes à fortes, on aboutit rapidement à des terrasses progressives du fait de l'érosion hydrique et mécanique. Elles constituent des ouvrages de LAE par la cassure de l'énergie du ruissellement mais aussi d'amélioration des terres (humidité, profondeur) et donc de la productivité des sols. Elles sont plus adaptées aux pentes fortes (Zouaoui Oum Elkheire et Adda benziane Yakout;2017).

I.6.2. Stratégies modernes d'équipement hydraulique

I.6.2. a. Restauration des terrains en montagne (RTM)

Développée en France à partir des années 1850. Elle a pour but de reboiser les terres dégradées de montagne et de corriger les torrents, de protéger les vallées et les voies de communication des masses de terre mobilisées par l'érosion et des crues dévastatrices (<http://www.ma.auf.org/erosion/chapitre1/ii.formes.html>).

I.6.2.b. Conservation de l'eau et des sols (CES)

Elle a été créée aux États-Unis lors de la crise de 1930. Cette stratégie vise à conseiller les paysans et à leur fournir un appui technique et financier pour lutter contre la dégradation

spectaculaire des terres des grandes plaines agricoles (des nuages de poussière, provoqués par l'érosion éolienne, étaient capables d'obscurcir le ciel en plein jour). La CES vise à maintenir en plus de la capacité de production des terres, aussi la protection de la qualité des eaux si indispensable aux citoyens. Les nuisances à l'aval coûtent bien plus cher et forcent l'État à réagir. Cela justifie les efforts considérables de l'État pour aider techniquement et financièrement les paysans (plus ou moins volontaires selon les régions) à aménager leurs terres (<http://www.ma.auf.org/erosion/chapitre1/ii.formes.html>).

I.6.2. c. Défense et restauration des sols (DRS)

qui consiste entre autres à re-végétaliser l'amont des bassins-versants, stabiliser les ravines, restaurer la productivité des terres et protéger les barrages de l'envasement. Cette stratégie a été développée par les forestiers dans les années 1940-1980 autour du bassin méditerranéen pour faire face à de graves pénuries d'eau, à l'envasement rapide des barrages (en 30 à 50 ans) et à la dégradation des équipements et des terres. La DRS est née d'un mariage de raison entre la RTM des forestiers (reboisement des hautes vallées, correction torrentielle) et la CES des agronomes (banquettes plantées d'arbres fruitiers). Pour les forestiers, il s'agissait avant tout de mise en défens des terres dégradées par la culture et le surpâturage, de ré-Forester les hautes vallées pour restaurer par les arbres la capacité d'infiltration des sols dégradés (<http://www.ma.auf.org/erosion/chapitre1/ii.formes.html>).



Figure I.10. DRS en pente sur bassin versant

I.6.2. d. Gestion conservatoire de l'eau, de la biomasse et de la fertilité des sols (GCES)

est une stratégie participative visant à mieux gérer les ressources en eau, en biomasse et en nutriments. Cette approche a été nommée « Land husbandry » par les anglophones et « Gestion conservatoire de l'eau, de la biomasse et de la fertilité des sols » (GCES) en français. Elle tient comme principe que les aménagements antiérosifs ne peuvent être durables sans la participation paysanne, cette stratégie tient compte de la façon dont les ruraux perçoivent les problèmes de dégradation des sols et propose l'intensification de la productivité des terres pour faire face à la croissance démographique (<http://www.ma.auf.org/erosion/chapitre1/ii.formes.html>).

I.7 . Conclusions

Les phénomènes d'érosion posent des problèmes de ,dégradation du potentiel de production et de nuisances qui augmentent en général avec le niveau de développement. Ces problèmes sont complexes parce que les causes sont différentes selon les cas, et les méthodes de lutte en dépendent. Or jusqu'ici, on a pratiquement toujours appliqué les méthodes qui réduisent l'énergie du ruissellement sans remédier la dégradation des sols par la battance des pluies, cause la plus générale en grande culture .

Chapitre II
Méthode d'Estimation
de pertes en sol
RUSLE

II.1.introduction

L'érosion est un processus complexe: il concerne l'arrachement, le transfert et la sédimentation de particules par l'eau. A l'échelle de la parcelle, elle se manifeste par une perte en éléments fertilisants qui se traduit par une baisse de la productivité du sol. Plusieurs méthodes ont été développées pour étudier ce phénomène, cependant la modélisation mathématique reste la plus efficace pour sa quantification. (Yassin*M et al.2009)

II .2. Le modèle (RUSLE)

Le modèle RUSLE « *Revised Universal Soil Loss Equation* » se présente sous forme d'une équation mathématique qui utilise les facteurs d'érosion comme entrées, pour estimer les pertes en sols moyennes annuelles résultantes de l'érosion en nappe et en rigole. Ce modèle ne prend pas en considération les processus d'érosion comme le détachement, le transport et le dépôt, pour estimer les pertes en sol.

Le modèle RUSLE n'est pas utilisé pour estimer la quantité des sédiments migrants d'un bassin, mais la quantité de sol perdue au niveau d'un site particulier notamment une parcelle. Pour cela, le modèle conserve la même forme que l'équation utilisée dans le modèle USLE ,établie précédemment par Wischmeier et Smith en 1978 Toutefois, la convivialité (**JILALI Rajae**) de RUSLE fait qu' il demeure une approche de modélisation très populaire en pratique (**MARC DUCHEMIN M. Sc. Environneme.2014**),

et qui se présente comme suit :

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

- A = taux d'érosion potentielle (**t / an ha**)
- R = facteur d'érosivité (MJ mm / ha h)
- K = facteur d'érodabilité (t h / MJ mm)
- L = facteur de longueur de pente
- S = facteur d'inclinaison de pente
- C = facteur de la couverture végétale
- P = facteur des pratiques de conservation du sol

II .3. Définitions l'équation universelle de perte de sol (RUSLE)

II .3.1. Taux d'érosion potentielle A (t / an ha)

A : exprime les pertes de terre annuelles moyennes possibles à long terme en tonnes par hectare par année. Cette valeur peut ensuite être comparée aux limites de « pertes de terre tolérables » (R.P. Stone et D. Hilborn.2000)

II .3.2. facteur de pluviosité et de ruissellement (R)

R : le facteur d'érosivité des pluies exprimé en Mega-Joul . mm / ha . h ; parmi les formules la plus utilisée selon JILALI pour calculer le facteur R qui n'utilisant que les précipitations mensuelles et annuelles sont citer dans le tableau suivant :

tableau II.1 : Formules utilisées pour l'estimation du facteur R (JILALI Rajae.2014)

Méthode	Auteur	Variables
$R = EI$ USLE : $E = 0.119 + 0.0873 \log_{10} I$	Wischmeier and Smith, 1978;	e : Energie cinétique I : Intensité
$R = 0.30 \times F^{1.93}$	Arnoldus, Exponential, 1977	F : Indice de Fournier $F = 1/N \sum (\sum P_i \exp 2/P_j)$ P _i : précipitation du mois i (mm) P _j : précipitation annuelle de l'année j (mm)
$R = 1.3735 \times 10 \times \left(1.5 \times \log \sum \frac{P_i}{P} \right) - 0.8188$ $R = 4.17 \times F - 152$	Arnoldus 1980	R: Coefficient d'érosivité moyenne de pluie (ft.tons.in/acre.hr) P _i : Précipitation mensuelle moyenne (in) P : Précipitation annuelle moyenne (in) F : indice de fournier $F = \frac{1}{N} \sum \sum \left(\frac{P_i^2}{p} \right)$
indice de concentration de précipitation $PCI = \frac{\sum_{i=1}^{12} P_i^2}{(\sum_{i=1}^{12} P_i)^2}$	Oliver, 1980	P _i : Précipitations mensuelles (mm) P _t : Précipitations annuelles (mm)

$R = 0.13 \times (Mx^{1.24})$	Leprun(1981)	Mx : Précipitations mensuelles (mm)
$R = 12.592 \times \left(\frac{Mx^2}{P}\right)^{0.6030}$	Val et al.(1986)	Mx : Précipitations mensuelles (mm) P: Précipitations annuelles (mm)
$R = 3.76 \times \left(\frac{Mx^2}{P}\right) + 42.77$	Oliveira Jr.and Medina(1990)	Mx= précipitation mensuelle (mm) P= précipitation annuelle (mm)
MMFI, Morais Modification of Fournier Index $R = b_0 \left(\frac{Pm}{P}\right)^{b_1}$	Morais et al. 1991	Pm : Précipitations mensuelles (mm), P : Précipitations annuelles (mm), b ₀ , b ₁ coefficients empiriques estimés respectivement 36.849 et 1.0852.
$R = 36.849 \times \left(\frac{Mx^2}{P}\right)^{1.0852}$	Morais et al.(1991)	Mx : Précipitation mensuelles (mm), P : Précipitations annuelles (mm)
$R = P \times 0.5$	Roose in Morgan and Davidson(1991)	P : précipitations annuelles (mm)
$R = 117.6 \times (1.00105^{MAR})$	Kassam et al ,1992	MAR : mean annual rainfall (mm)
$R = 0.0483P^{1.610}$ si $P < 850$ mm $R = 587.8 - 1.219P + 0.004105P^2$ si $P > 850$ mm $-R = 0.7397F^{1.847}$ si $F_{mod} < 55$ mm $R = 95.77 - 6.081F_{mod} + 0.4770F_{mod}^2$ Si $F_{mod} \geq 55$ mm	Renard and Freimund (1994)	P: Précipitation annuelle (mm) F_{mod} = P_x²/P Avec : P _x : précipitations mensuelles du mois x (mm) P : précipitations annuelles (mm)
$R = \frac{1}{n} \sum_{y=1}^n \sum_{\alpha=1}^s (EI_{30})_{\alpha}$ (MJ mm h ⁻¹ ha ⁻¹ mois ⁻¹) avec : $EI_{30} = K \times d \times (h_{max})^{1.195}$	Bagarello and D'Asaro (1994)	d = précipitation journalière (mm) h _{max} = Max d'intensité de précipitation a 60 min (mm h ⁻¹), K: coefficient égale à 0.150 (0.117 lors I 30 min) α : le nombre des averses pendant le mois n : nombre des années
$R = 3.82F^{1.41}$	Yu&Rosewell (1996)	F : Indice de Fournier F=1/N Σ(Σ Pi exp 2/P) Pi : précipitation du mois i (mm) P : précipitation annuelle de l'année j (mm)
$R = 42.307 \times \left(\frac{Mx^2}{P}\right) + 69.763$	Silva (2001)	Mx : précipitations mensuelles (mm) P : précipitation annuelles (mm)

<p>-GJRM, Grimm–Jones–Rusco–Montanarella $R = b_0 \times P_m$</p>	<p>Grimm et al. (2003)</p>	<p>P_m (mm/mois), b_0 coefficient empirique varie entre 1,1 et 1.5</p>
<p>REMDB, Diodato–Bellocchi Rainfall Erosivity Model $R_m = b_0 - [P_m \times (f(m) + f(E, L))]^{b_1}$</p>	<p>Diodato, N., Bellocchi, G., 2007</p>	<p>$f(m)$ fonction sinusoidale mensuelle, $f(E, L)$ fonction parabolique reflète l'influence de l'élévation (E, m) et latitude (L°). b_0 et b_1 : coefficients empiriques</p>
<p>RMedREM = $b_0 * P * \sqrt{d} * (\alpha + b_1 * l)$</p>	<p>Diodato, Bellocchi. (2010)</p>	<p>$b_0 = 0.117$ MJ/ha h $b_1 = -0.015d^{0.5}mm^{-0.5-1}$ $\alpha = 2.00$ p : précipitation annuelle moyenne l : longitude de la station en degré $d = \sum P_{max}$ P_{max} : précipitation max chaque anne</p>

II.3.2.1. But du calcul de R

Le facteur R est l'indice d'érosivité de l'eau de pluie et du ruissellement nécessaire pour prévoir l'érosion hydrique à l'aide de l'USLE. Les données sur la pluviosité sont utilisées de deux manières dans l'USLE, soit :

- pour mesurer la quantité annuelle totale de pluie érosive à un endroit donné
- pour évaluer la répartition de la pluie érosive sur l'année exprimée comme une partie du facteur R total par unité de temps.

L'indice d'érosivité de l'eau de pluie est un indicateur des deux variables les plus critiques de l'érosivité des orages — la quantité d'eau de pluie et l'intensité maximale soutenue sur une période prolongée. Le facteur R représente la quantité annuelle moyenne de tous les pluies érosives (EI).

EI correspond à l'énergie cinétique totale d'un orage multipliée par l'intensité maximale des pluies durant 30 minutes, où :

E = volume de précipitation et de ruissellement et .

I = taux maximaux prolongés de détachement et de ruissellement(**G.J. Wall et al .1997**)

II. 3.2.2. Variables affectant le facteur R

En règle générale, les orages qui produisent un volume élevé d'eau de pluie et d'eau de ruissellement sur une période prolongée ont les valeurs R les plus élevées (c.-à-d. la plus forte érodabilité). Les faibles quantités de pluie de courte durée ont peu d'incidence sur l'érosion des sols (p. ex. les précipitations inférieures à 1 cm, d'une durée de moins de 30 minutes). Énergie des orages

- Intensité des orages
- Répartition annuelle des pluies érosives
- Précipitations hivernales
- Fonte des neiges (G.J. Wall et la .1997)

II .3.3. facteur d'érodabilité du sol (K)

L'érodabilité du sol K détermine la résistance des différents types de sols à l'érosion. Certains sols sont plus sensibles à l'érosion hydrique. Le facteur K est déterminé en fonction de certaines caractéristiques des sols qui sont : la texture, la présence de la matière organique, la perméabilité et la profondeur. Ils sont calculés selon la formule suivante : (El Hafid Driss. Akdim Brahim.2018)

$$k = [2,1*10^{-4}*(12 - MO)M^{1.14} + 3.25*(S-2) + 2,5*(P-3)]/100 \tag{II.1}$$

$$k = \frac{2.8*10^{-5}*(12-OM)*M^{1.14} + 4.3*10^{-1}*(s-2) + 3.3*10^{-1}*(p-3)}{100} \tag{II.2}$$

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

MO : le pourcentage de matière organique

S : le code de structure

P : la classe des perméabilités

$$K=0,1317fesand*fct-si*forgc*fhisand \tag{II.3}$$

Fesand : is a factor , that lowers the k indicator in soils with high coarse-sand content and Higher for soils with little sand

$$Fesand = 0.2 + 0.3 \exp [-0.0256m_s \left(1 - \frac{msilt}{100} \right)] \tag{II.4}$$

Fctisi : gives low soil erodibility factors for soils with high clay –to-silt ratios

$$Fctisi = \left(\frac{msilt}{mc+msilt} \right)^{0.3} \tag{II.5}$$

Forgc : reduces k values in soils with high organic carbon

$$Forgc = \left[1 - \frac{0.25orgc}{orgc + \exp(3.72 - 2.95orgc)} \right] \tag{II.6}$$

Fhisand : lowers k values for soils with extremely high sand

$$F_{\text{hsand}} = \left[1 - \frac{(0.7(1 - \frac{m_s}{100}))}{(1 - \frac{m_s}{100}) + \exp[-5.51 + 22.9(1 + \frac{m_s}{100})]} \right] \quad (\text{II.7})$$

m_s : the sand fraction content (0.05-2.00 mm diameter) (%)

m_{silt} : the silt fraction content (0.002-0.05 mm diameter) (%)

$orgc$: the organic carbon content (%)

mc : the clay fraction content (<0.002 mm diameter)

II.3.3.1. But de calcul de K

Le facteur d'érodabilité du sol (K) représente le taux de perte en sol par unité de surface tel que mesuré sur une parcelle de 3,7 m x 22 m (12' x 72').

'Le facteur K' est une mesure quantitative de la sensibilité ou de la résistance inhérente d'un sol à l'érosion et de l'incidence du sol sur le volume et le débit de ruissellement

(G.J. Wall et al.1997)

II .3.3.2. Variables affectant le facteur K

Un certain nombre de facteurs importants qui ont une incidence sur la sensibilité de certains sols à l'érosion sont décrits

- Texture du sol
- Teneur en matières organiques
- Structure
- Perméabilité
- Fluctuation saisonnière(G.J. Wall et la .1997)

I.3.4 facteur d'inclinaison (LS)

Le critère de pente est utilisé pour mettre en évidence la capacité d'un ruissellement à détacher et transporter des particules de sol : plus la pente est importante, plus le ruissellement érodera le sol. Fauck et Fournier ont affirmé qu'il suffit une action pluviale pour déclencher le phénomène de l'érosion, puisque cette dernière apparaît sur des pentes très faible, de l'ordre de 2%. Cependant, toutes les études qui ont suivi montrent qu'il existe une forte relation entre le degré de pente et sa longueur et l'intensité de ruissellement et par suite, sa capacité de détacher et transporter des particules. Plus la pente est forte et plus elle est longue, plus l'érosion est plus intense. Le paramètre de topographie, évalué à partir de deux critères : l'inclinaison de la pente et sa longueur, est calculé à partir d'un modèle numérique de terrain (MNT) de résolution 28 mètres. Les logiciels informatisés tels que ARCGIS ont amplement facilité les calculs de certains paramètres tels que le cas du facteur

topographique qui a été calculé à partir du MNT, de la carte des classes de pentes et la carte des flux selon l'expression suivante(**L. Khali Issa et al.2016**)

$$LS=[(\text{Flow.Acc}*\text{Résolution})/22,1]^{0,4} * [(\sin(\text{pente})*0,01745)/0,0896]^{1,4} * 1,4 \quad (\text{II.8})$$

$$LS = (\text{flows accumulation} * \text{cell size} / 22.13)^{1.4} * x((\sin(\text{slope}) / 0.0896))^{1.3} \quad (\text{II.9})$$

flows accumulation : Creates a raster of accumulated flow into each cell. A weight factor can optionally be applied

slope(pente): Identifies the slope (gradient, or rate of maximum change in z-value) from each cell of a raster surface

Résolution (cell size) : taille de pixal

$$LS = \left(\frac{\lambda}{22,13} \right)^{mp} * (0,065 + 0,045 * \sin \Theta + 0,065 * (\sin \Theta)^2) \quad (\text{II.10})$$

L = facteur de longueur de la pente

λ = longueur de la pente (m)

m = exposant, généralement 0,5

Θ : est l'angle de la pente en (%)

II .3.4.1. But de calcul de LS .

Mesurer les effets de l'angle et de la longueur de la pente sur l'érosion .

Corriger la prévision de l'érosion pour une longueur et un angle de pente donnés afin de rendre compte des différences provenant des conditions présentes dans les levés de surveillance d'érosion standard sur lesquels l'USLE est basée (longueur de 72 pi ou de 22, pentes de 9 %; Wischmeier et Smith, 1978) (**G.J. Wall et la .1997**)

II .3.4.2. Variables affectant le facteur LS

Les incidences des composantes du facteur LS sur l'érosion des sols sont résumées

- **Inclinaison**
- **Longer**
- **Type** (**G.J. Wall et la.1997**)

II .3.5. facteur de culture/végétation et de gestion (C)

La couverture végétale est l'élément essentiel de la protection du sol contre l'érosion. Elle renseigne sur le degré de protection du sol. En effet la couverture végétale permet la diminution de l'effet "splash" sur les sols. De même les racines des arbres et des plantes fixent le sol et favorisent l'infiltration. Les feuilles des plantes en tombant se transforment en matière organique toute chose qui contribue à la cohésion du sol. Un sol bien couvert par la végétation ralentit l'écoulement des eaux tandis qu'un sol nu est plus exposé à l'érosion. La carte de répartition des formes végétales est extraite de la carte de l'occupation des terres de la région. Les formations végétales ont été classées en fonction de la densité, de la hauteur et du système cultural (MOSTEPHAOUI T . et la. 2013)

$$C = \exp\left[-\alpha * \frac{NDVI}{\beta - NDVI}\right] \quad (II.11)$$

$$\alpha=1$$

$$\beta=2$$

$$NDVI = \frac{(PIR-IR)}{(PIR+IR)} \quad (II.12)$$

PIR : proche infrarouge

IR : infrarouge

NDVI : l'indice de végétation normalisé dérivé

II .3.5.1. But de calcul de C .

On utilise le facteur C pour déterminer l'efficacité relative des systèmes de gestion des sols et des cultures en vue de prévenir ou de réduire la perte de sol.

La valeur de C est un rapport permettant de comparer le sol érodé dans un système de gestion et de culture déterminé aux conditions de jachère continue. (**G.J. Wall et la.1997**)

II .3.5.2. Variables affectant le facteur C

Les variables qui ont une incidence sur le facteur C sont décrites

- Voûte de verdure
- Couverture végétale
- biomasse du sol
- travail du sol
- rugosité de la surface
- utilisation précédent e des sols
- répartition des pluies érosives durant la saison de croissance(**G.J. Wall et la.1997**)

II .3.6. facteur de conservation (P)

Le facteur « P » exprime l'influence des méthodes de conservation sur l'érosion

Il n'ya aucune étude de modélisation de ce paramètre. Seules des observations de terrain pourraient permettre de le calculer par comparaison de la perte de sol avec les pratiques antiérosives et de la perte sur le même sol sans aucune pratique. Les cultures en courbes de niveau, en bandes alternées ou en terrasses, les reboisements en banquettes, le buttage et le billonnage sont les pratiques les plus efficaces de conservation des sols. Les valeurs de P sont inférieures ou égales à 1. La valeur 1 est attribuée aux terrains sur lesquels aucune des pratiques citées n'est utilisée. Les valeurs de P varient selon la pratique adoptée et aussi selon la pente. Dans tout le bassin versant d'isser il n'y a pas d'aménagements antiérosifs. Dans ce contexte, la valeur $P = 1$ a été attribuée à toute la superficie du bassin.(MOSTEPHAOUH T . et la.2013)

II .3.6.1. But de calcul de P

Le facteur P tient compte de l'efficacité anti-érosive des pratiques de soutien .

Le facteur P soutient le facteur de couverture végétale et de gestion

Le facteur P représente les incidences des pratiques qui réduiront la quantité et le taux des eaux de ruissellement en modifiant la configuration de l'écoulement, l'inclinaison ou la direction du ruissellement de surface et, par conséquent, réduit l'intensité de l'érosion.

Les pratiques de soutien courantes sont les suivantes :

la culture en pente transversale

la culture suivant les courbes de niveau

la culture en bandes alternantes

l'aménagement de terrasses (**G.J. Wall et la.1997**)

II .3.6.2. Variables affectant le facteur P

Les comparaisons entre les diverses pratiques de soutien, leur fonction et leur efficacité relative pour atténuer l'érosion sont présentées

- Culture en pente transversale (Valeur de P : 0,75 - 1,0)
- Culture suivant les courbes de niveau (Valeur P : 0,50 - 0,90)
- Culture en bandes alternantes (Valeur de P : 0,25 - 0,90)
- L'aménagement(**G.J. Wall et la .1997**)

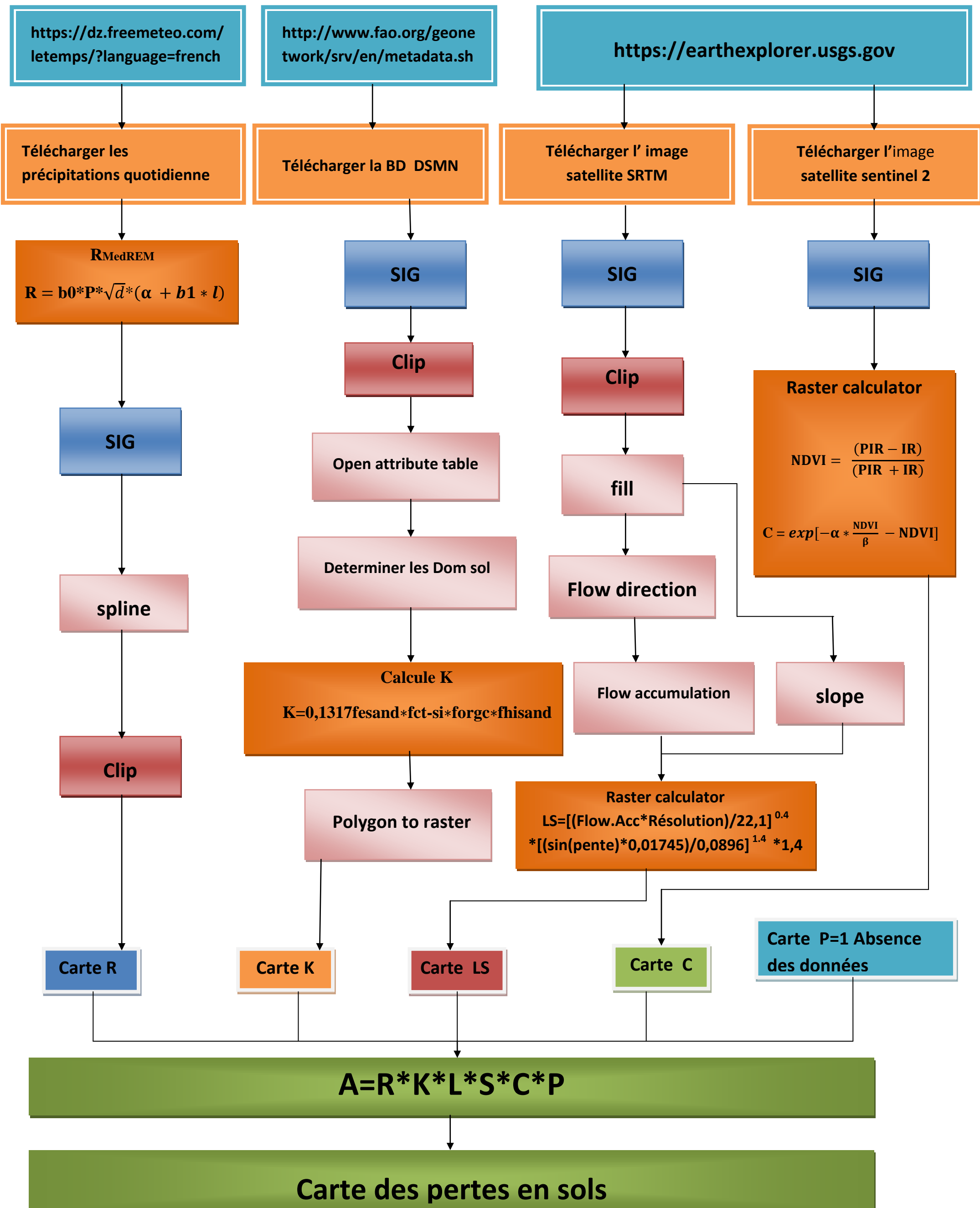


Figure II.2 organigramme générale des étapes suivi lors le calcul des pertes en sol sur le BV d'ISSER

Chapitre III
les pertes en sol sur le
bassin versant
d'ISSER

III.1.Introduction

Le but de l'étude consiste à élaborer un ensemble des cartes thématiques présentant les résultats de l'analyse des différents facteurs intervenant dans le phénomène de l'érosion (**Amal Markhi a la 2015**) afin d'élaborer la carte de l'érosion potentielle sur la zone d'étude en respectant le modèle de prédiction empirique RUSLE (équation Universelle Révisée de Perte en Sol) pour l'estimation des pertes en sol au niveau des versants, et qu'est un modèle empirique et spatialisé développé à l'origine par Wischmeier et Smith en 1958. Le principe consiste à intégrer, dans un système d'information géographique (SIG), la majorité des facteurs figurant dans le modèle RUSLE(**Amal Markhi a la 2015**).

III.2. Présentation de la zone d'étude**III.2.1 Géographie**

Le bassin de l'ISSER est situé au Centre - Nord de l'Algérie, avec une superficie totale de **4 149 Km²**, ce qui vaut à 8.72% de la superficie totale du bassin Algérois - Hodna - Soummam avec une population totale estimée en 2017 à 812 291 habitants.

Il est limité comme suit:

- A l'Est par le bassin de la Soummam;
- Au Sud par le bassin du HODNA;
- A l'Ouest et au Nord par le bassin du Côtier-Algérois.

Le bassin versant de l'oued ISSER au droit du barrage de BENI AMRANE draine une superficie de 4126 km².(**M.HOUARI ZEGGANE-2014**)

Le bassin versant ISSER est situé environ à 70 Km au Sud Est d'Alger. Il présente sensiblement la forme d'un quadrilatère d'orientation Sud -Ouest /Nord-Est.

Le cadre géographique dans lequel se développe le bassin versant est constitué de l'atlas tellien algérois au Nord qui culmine à 1130 m au Djebel TAMESGUIDA et de la chaîne des Bibans au Sud qui culmine à 1810 m au Djebel Dir. Ces deux chaînes sont séparées par la plaine des Aribis d'altitude 550 m.

Le bassin versant de l'Oued ISSER dont les lignes de crête se situent entre 90 et 1810 m a une altitude moyenne de 950 m

Le cours d'eau principal parcourt une distance de 98,2 km.

En relation avec le contexte géologique et structural, on distingue le Haut et Moyen ISSER d'une part, et le Bas ISSER d'autre part. Bas ISSER: il est situé à 60 Km à l'Est d'Alger et limité comme suit: (**M.HOUARI ZEGGANE-2014**)

- Au Nord par la mer Méditerranée;
- Au Sud par le contrefort de la dorsale Kabyle et Djebel Ahmed;
- Au Nord-Est par le Massif de Cap DJINET;

- A l'Est par les Massifs RAICHA et CHENDER;
- A l'Ouest par les Massifs de THENIA.

Haut et Moyen ISSER: la plaine du Haut et Moyen ISSER est limitée comme suit:

- Au Nord par le Massif de BENI AMRANE;
- A l'Est par l'oligocène de DRAA EL MIZANE;
- A l'Ouest par les formations oligocènes du Djebel Bou ZEGZA.(M.HOUARI ZEGGANE-2014)

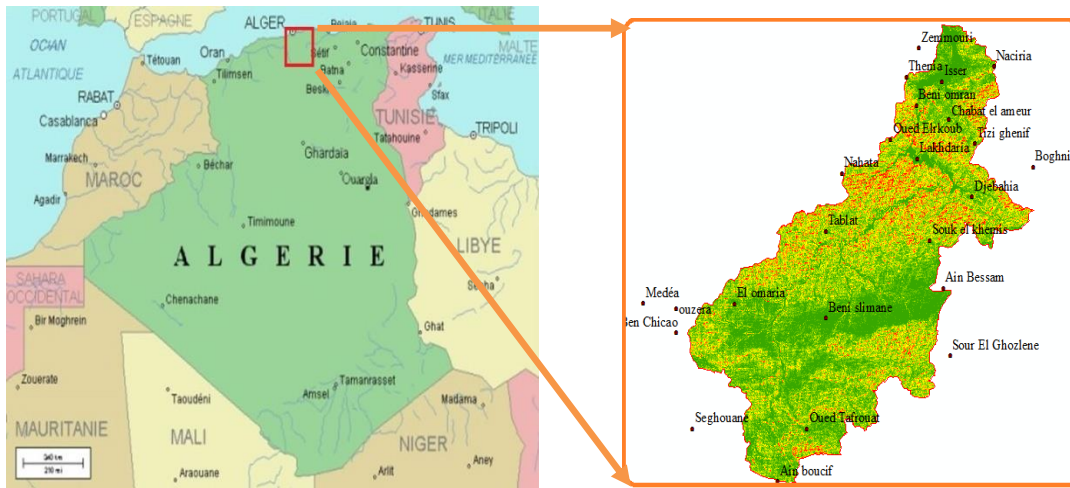


Figure III.1. Planificateur de situation du BV de ISSER.

III.3 données et méthodes

L'intervention de plusieurs facteurs dans le modèle RUSLE conduire à l'utilisation des données multi-sources (des images satellitaire , des images radar et des données pluviométriques) , multi formats (raster , données descriptives , mesures pluviométriques , et base de données HWSD) et multi dates (des données pluviométrique entre 1993 et 2017).

Les données utilisées pour la cartographie du risque d'érosion sur le bassin versant d'ISSER sont regroupés dans le tableau suivant (Tab III.1) :

Tab III.1 les données utilisées

données	Type	Saurasses
Précipitation	Vecteur	https://dz.freemeteo.com/letemps/?language=french&country=algeria
SRTM	Raster 20mx20m	https://earthexplorer.usgs.gov
Sentinel	Raster GSD 20m x20m	https://earthexplorer.usgs.gov
DSMW	Vecteur	http://www.fao.org/geonetwork/srv/en/metadata.show?id=14116

III.3.1 Préparation, nettoyage et complètement des données

III.3.1.1 Données pluviométriques (Facteur R)

Les données pluviométrique (quantité de précipitation sur le bassin versants enregistrées entre 1993 et 2017 présente certains lacune (les années 1994,2006,2009), et les jours de 28,29,30 de mois de décembre par exemple), pour compléter ces données on a procédé à l'application de la méthode de régression simple sous Excel qui est une méthodes de prédiction .

Principe de la méthode de la régression simple

La droite de régression de Y en fonction de X

introduit l'hypothèse que les valeurs de Y dépendent de celles de X, c'est-à-dire postulent que la connaissance des valeurs de X permet de prévoir les valeurs de Y. Il s'agit donc d'un modèle de prévision et l'objectif est de minimiser l'erreur de prévision c'est-à-dire la distance entre les valeurs Y_i observées et les valeurs Y_i estimés par la relation $Y=a X+b$. Les résidus seront donc la distance à la droite par rapport à l'axe Oy (Fig2.)

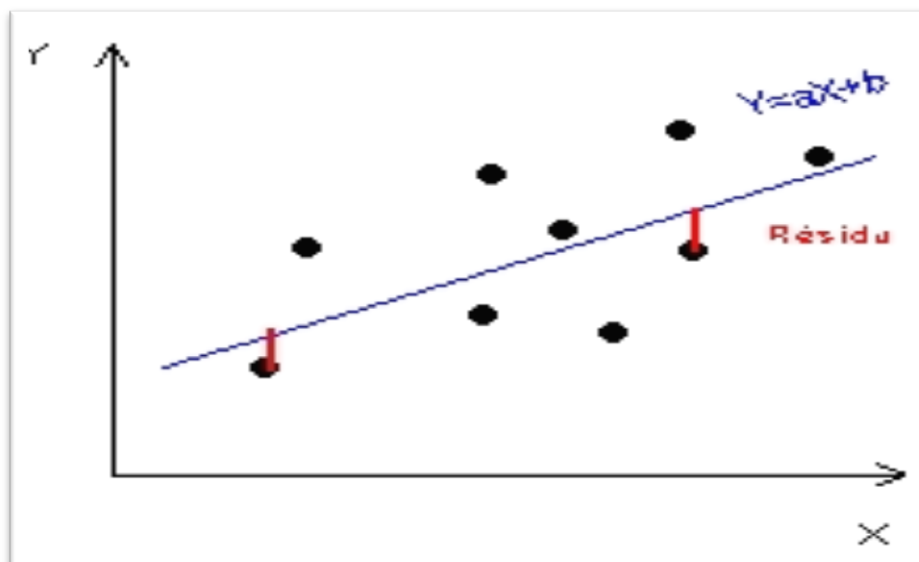


Figure III.2 Droite exprimant Y en fonction de X

On note Y la variable aléatoire réelle à expliquer et X la variable explicative (déterministe) ou effet fixe ou facteur contrôlé. Le modèle revient à supposer, qu'en moyenne, $E(Y)$, est une fonction affine de X

$$E(Y) = f(X) = \beta_0 + \beta_1 X.$$

Remarque : Nous supposons pour simplifier que X est déterministe. Dans le cas contraire, X aléatoire, le modèle s'écrit alors conditionnellement aux observations de X : $E(Y | X = x) = \beta_0 + \beta_1 x$ et conduit aux mêmes estimations. Pour une séquence d'observations aléatoires identiquement distribuées $\{(y_i, x_i) | i = 1, \dots, n\}$ ($n > 2$, et les x_i non tous égaux), le modèle s'écrit avec les observations :

$$y_i = \beta_0 + \beta_1 x_i + u_i \quad i = 1, \dots, n$$

ou sous la forme matricielle :

$$\begin{bmatrix} y_1 \\ \vdots \\ y_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & x_1 \\ \vdots & \vdots \\ 1 & x_n \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \beta_0 \\ \beta_1 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} u_1 \\ \vdots \\ u_n \end{bmatrix}$$

$$y = X\beta + u$$

où le vecteur u contient les erreurs. Les hypothèses relatives à ce modèle sont les suivantes :

1. la distribution de l'erreur u est indépendante de X ou X est fixe,
2. l'erreur est centrée et de variance constante (homoscédasticité) :

$$\forall i = 1, \dots, n \quad E(u_i) = 0, \quad \text{Var}(u_i) = \sigma_u^2.$$

3. β_0 et β_1 sont constants, pas de rupture du modèle.
4. Hypothèse complémentaire pour les inférences :

$$u \sim \mathcal{N}(0, \sigma_u^2 \mathbf{I}_p).$$

Après complètement des données le calcul du facteur d'érosivité \mathbf{R} qui dépend seulement de la pluviométrie et effectuer sur Excel avec la formule développé par **Diodato** sur la région méditerranéenne **RMedREM Tab II.1** .

Tab III.2 Facteur R par station

Station	X(m)	Y(m)	R(MJ mm / ha h)
Tizi ghenif	568878,3	4049667,2	878,68
Souk el khemis	556499,9	4027390,86	883,105
Tablat	527794,3	4029469,64	884,331
El omaria	502694,9	4012787,3	890,898
Chabat el ameur	561682,1	4055159,27	882,088
Djebahia	568080,1	4037458,07	909,929
Ain boucif	514440,4	3971759,78	890,987
Medéa	477542,3	4012815,86	877,365
Boghni	585034,9	4044264,8	869,585
Dellys	581053,9	4086384,44	863,773
Ben Chicao	486515,1	4006142,17	834,346
Lakhdaria	553065,6	4046227,13	826,393
Seghouane	490987,2	3983953,08	831,997
Beni slimane	527858,3	4009503,85	855,261
Ain Bessam	560164,1	4016322,68	859,347
Naciria	574092	4067460,75	842,455
Sour El Ghozlene	562070,5	4000806,34	857,424
Oued Tafrouat	522531,9	3983977,35	866,989
ouzera	486523,7	4011688,12	850,924
Nahata	532227,5	4042796,07	850,979
Oued Elrkoub	545614,6	4050621,61	846,62
Thenia	550002,5	4065067,21	827,737
Isser	559832,2	4064020,96	864,472
Zemmouri	553532,4	4071744,67	840,076
Beni omran	552722,1	4058427,53	866,172

ensuite et avec le logiciel ARCGIS une généralisation des valeurs de R sur la totalité du bassin versant d'ISSER est effectué avec une interpolation spline de toolbox , les résultats de R sont présentés dans la **Fig III.3**

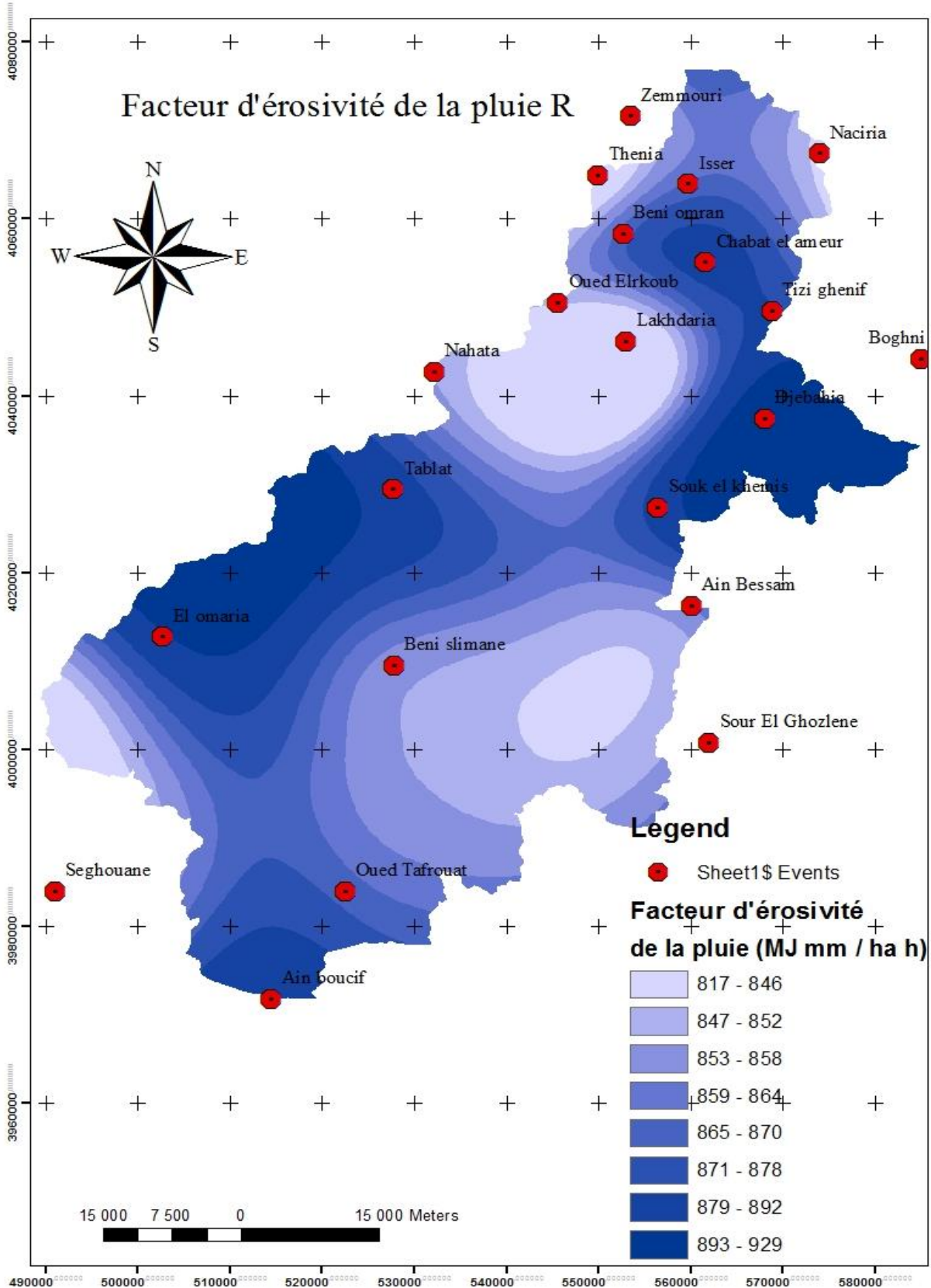


Figure III.3 Carte de l'érosivité des pluies (R) dans le bassin versant de ISEER

L'érosivité est varié entre **817 MJ mm / ha h** enregistré au niveau de région à base altitude (au niveau des stations LAKHDARIA NACIRIA et SEGHOUENE), par contre les valeurs max **929 MJ mm / ha h** sont enregistré au niveau des zones à haute altitude ou montagneuses (au niveau des station ELOMARIA , ELDJEBAHIA et CHABAT ELAMEUR) .

III.3.1.2. Facteur LS topographie

Pour calculer l'influence de la topographie sur le risque d'érosion hydrique , on a utilisé le modèle numérique d'élévation DEM (SRTM) et après préparation et nettoyage (mosaïque et clip des images SRTM) le facteur LS est calculé avec la formule (**formule II.8**) , les valeurs du facteur LS varier entre **0** qui se trouve à la région de la cote de la méditerranéenne et au niveau des cours d'eau , par contre les valeurs maximales **21.49** se trouve dans les région montagneuse. Les résultats du facteur LS sont présenté dans la **figure III.4**

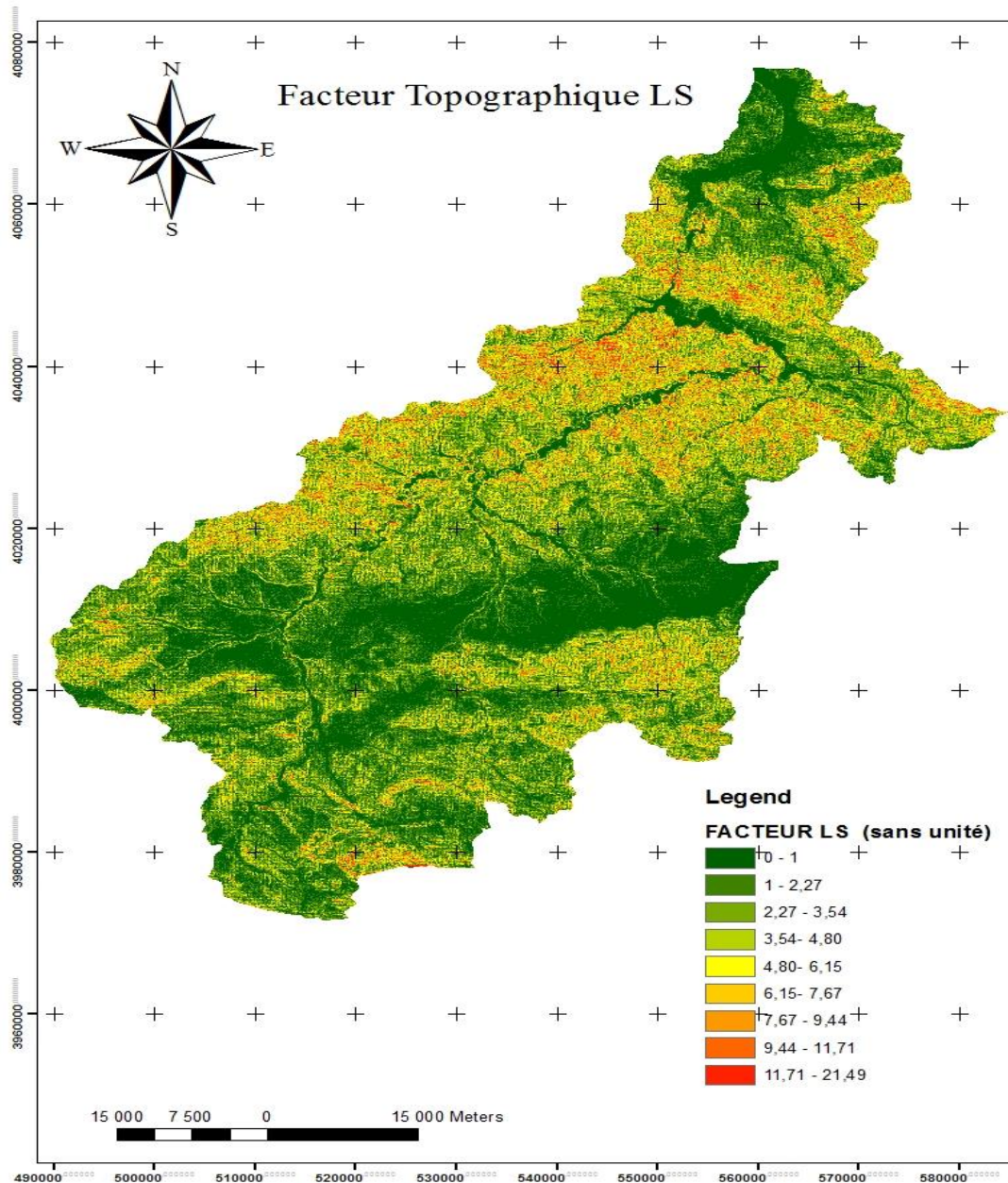


Figure III.4 Carte du facteur topographique (LS) dans le bassin versant de ISSER

III.3.1.3. Facteur K d'érodibilité du sol

La détermination du facteur K nécessite des essais au laboratoire pour déterminer la quantité de la matière organique au niveau de sol pour chaque type de sol qui est très difficile à réaliser à cause de :

- L'étendue du bassin versant
- Les essais sont indisponibles au niveau de laboratoire
- Limite de la durée de la mémoire.

A cet effet on a orienté notre travail vers une autre méthode qui se base sur la texture du sol, et pour déterminer la texture des différents sols contenus dans le bassin versant d'ISSER. On a utilisé la base de données mondiale des sols citée dans le **tableau III.3** (HWSD).

Tableau III.3 extrait de HWSD sur le bassin versant d'ISSER

DOMSOI	SNUM	ms(sand) topsoil%	msilt (silt) topsoil %	mc (clay) topsoil %	org Coraganic carbon %
LO	1524	81,6	6,8	11,7	0,44
LO	1525	81,6	6,8	11,7	0,44
JC	1345	39,6	39,9	20,6	0,65
LO	1526	76	9,9	14,1	0,41
BK	1127	81,6	6,8	11,7	0,44
LC	1416	64,3	12,2	23,5	0,63
LC	1413	64,3	12,2	23,5	0,63
I	1238	58,9	16,2	24,9	0,97
XK	320	48,7	29,9	21,6	0,64

Après préparation et nettoyage des données (clip sur le bassin versant, et détermination de l'identifiant des sols concernés), et en utilisant les formules (II.3) à (II.7), les résultats du calcul du facteur K sont présentés dans le **tableau Tab III.4** (les résultats du calcul donnent les valeurs de K dans le système USA pour rendre ces valeurs dans le système international on introduit un coefficient = 0.1317), et qui varient entre **0.013885 t h / MJ mm** pour les sols à érodibilité faible, et **0.02276 t h / MJ mm** pour les sols à érodibilité forte.

Tableau III.4 calcul du facteur K

DOMsol	Fcsand	F ct-st	F org	F hisand	K usle Système USA	K Système international
LO	0,200000001	0,740629754	0,990605014	0,718478976	0,1054255	0,013885
LO	0,200000001	0,740629754	0,990605014	0,718478976	0,1054255	0,013885
JC	0,200677792	0,882602709	0,975799692	0,999897187	0,1728147	0,02276
LO	0,200000007	0,766703041	0,991942511	0,862979907	0,1312636	0,017287
BK	0,200000001	0,740629754	0,990605014	0,718478976	0,1054255	0,013885
LC	0,200000159	0,724615274	0,977701892	0,983033772	0,1392877	0,018344
LC	0,200000159	0,724615274	0,977701892	0,983033772	0,1392877	0,018344
I	0,200000976	0,756313683	0,927168836	0,994235324	0,1394383	0,018364
XK	0,20004804	0,849491794	0,976765688	0,999298897	0,1658744	0,021846

La carte d'érodibilité des sols est présentée ci-dessous **Figure III.5** :

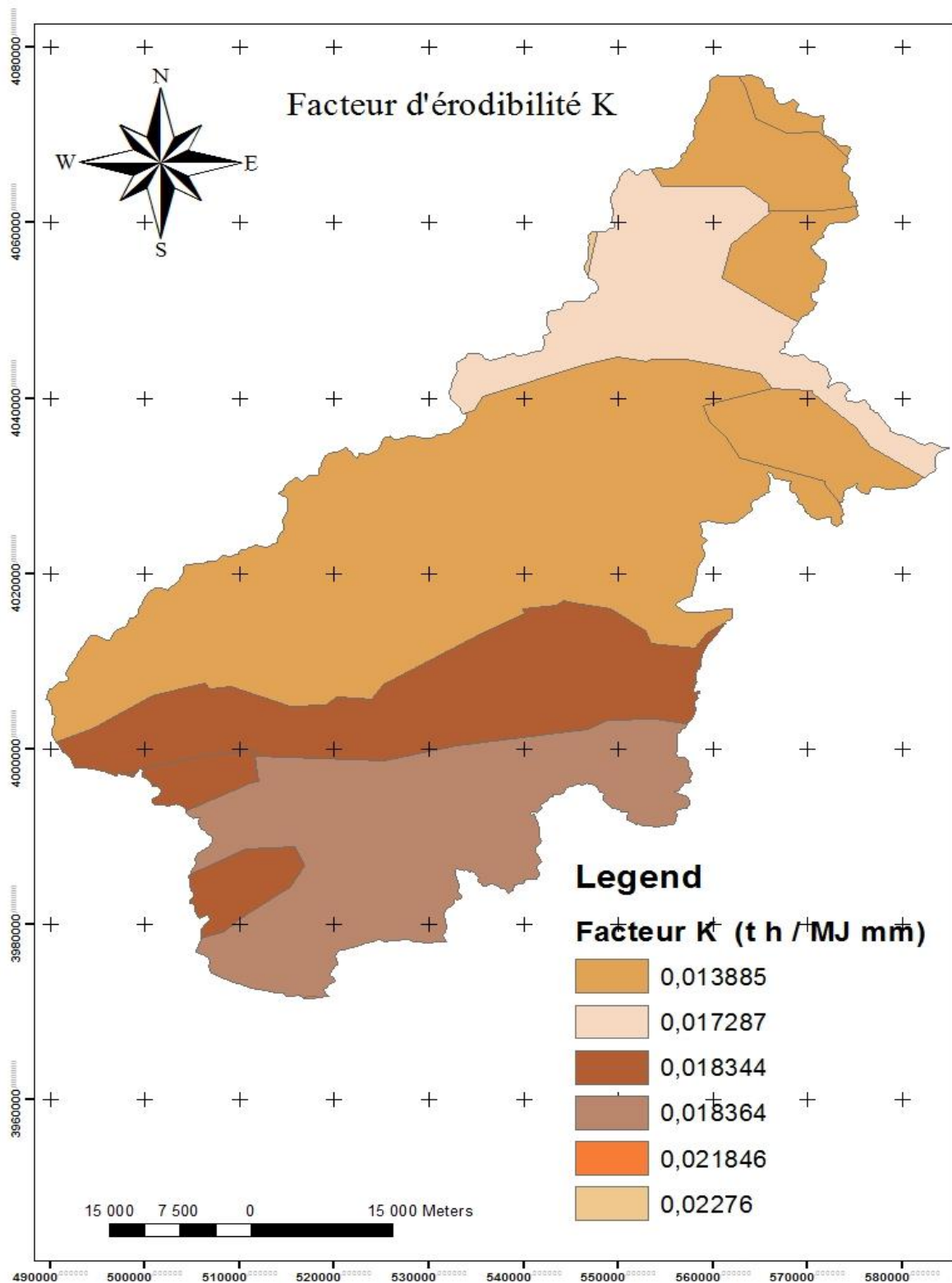


Figure III.5 Carte de l'érodibilité des sols (K) dans le bassin versant de ISSER.

III.3.1.4. Facteur C couverture végétale du sol

Pour la détermination du facteur C ,on a utilisé les images du satellite SENTINEL 2 pour la période où l'activité chlorophyllienne est forte c.-à-d. entre 20 mars et 15 mai, en appliquant la (formule II11),ou le NDVI est l'indice normalisé de la végétation calculé par la (formule II12). Pour le satellite SENTINEL la bande IR est la 4 bande et la bande PIR est la bande 8 , le facteur C est réalisé(après mosaïque et clip sur le bassin versant) sous ARCGIS avec la commande *toolbox -spatiale analyst-map algebra- raster calculator*. Le facteur C est présenté dans la Figure III.6

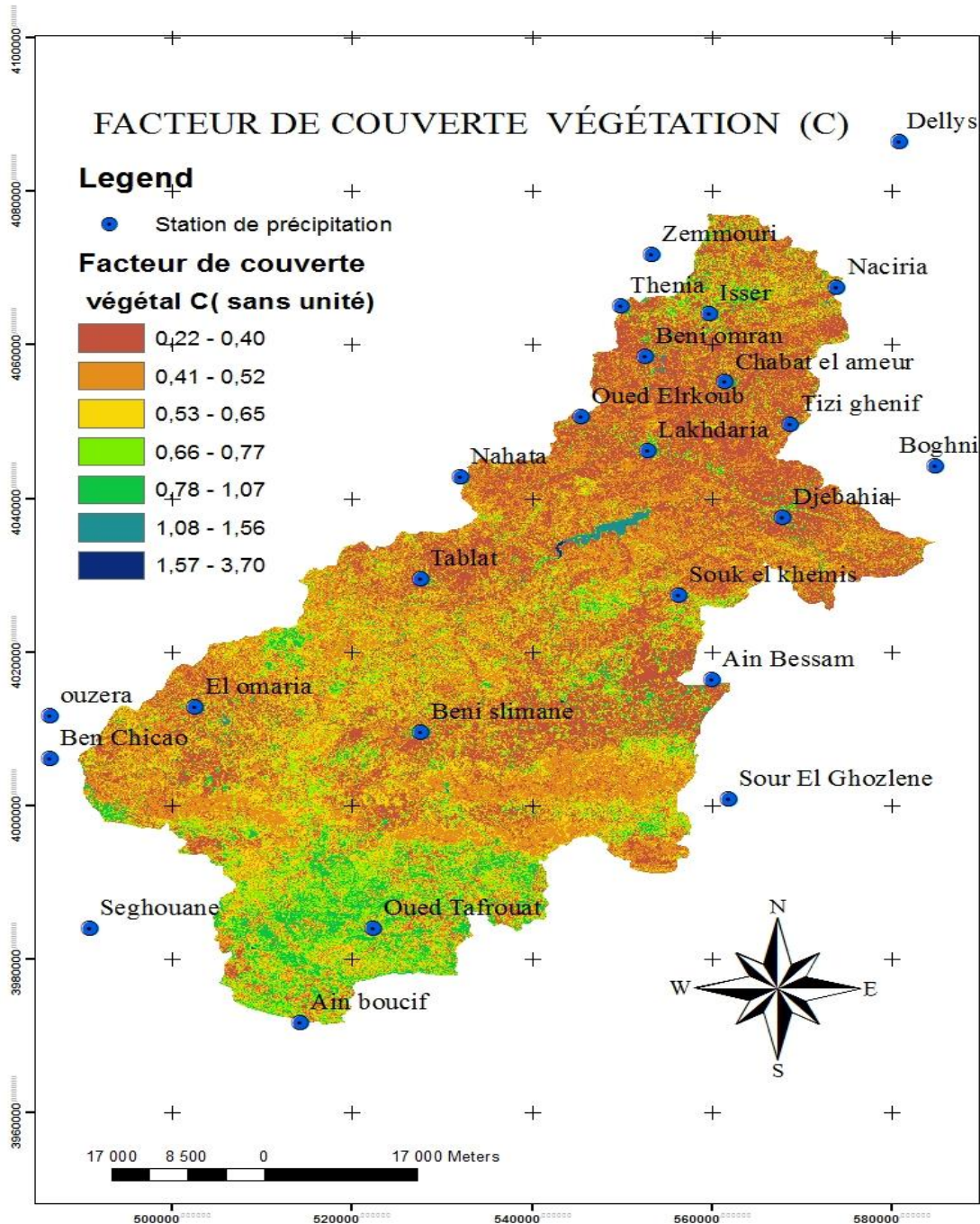


Figure III.6 Carte de couverture végétale (C)

III.3.1.5. Facteur P conservation des sols

Avec l'absence des informations nécessaire pour quantifier ce facteur , on va mettre le facteur $P=1$ (P compris entre 0 et 1 , 1 pour les zones ou il n' ya pas des travaux de conservation et 0 pour les zones ou les terrains sont protégés) , pour la totalité de la zone , qui représente une absence totale des travaux de réduction du risques et qui présente le cas le plus défavorable.

III.4. les pertes en sol A

sous ARCGIS En appliquant l'équation RUSLE aux valeurs obtenues par croisement sous **ARCGIS**, et en utilisant la fonction **Map Calculator**, on peut ainsi obtenir la carte de l'évaluation des risques d'érosion de la zone.

$$\text{application du modèle RUSLE } A=R \times K \times LS \times C \times P$$

les pertes en sol sont présenté dans la Figure ci-dessous **Figure III.7**, les pertes en sols enregistrés sur le bassin versant varient entre 0 pertes enregistrées sur les terrains plats au Nord et à faible précipitation (altitude moyennement faible) après le barrage de BENI AMRANE , et entre AIN BASSAM , BENI SLIMANE et EL OMARIA , par contre les pertes maximales en sol sont enregistrées au niveau des montagnes où la pente et les précipitations sont maximales.

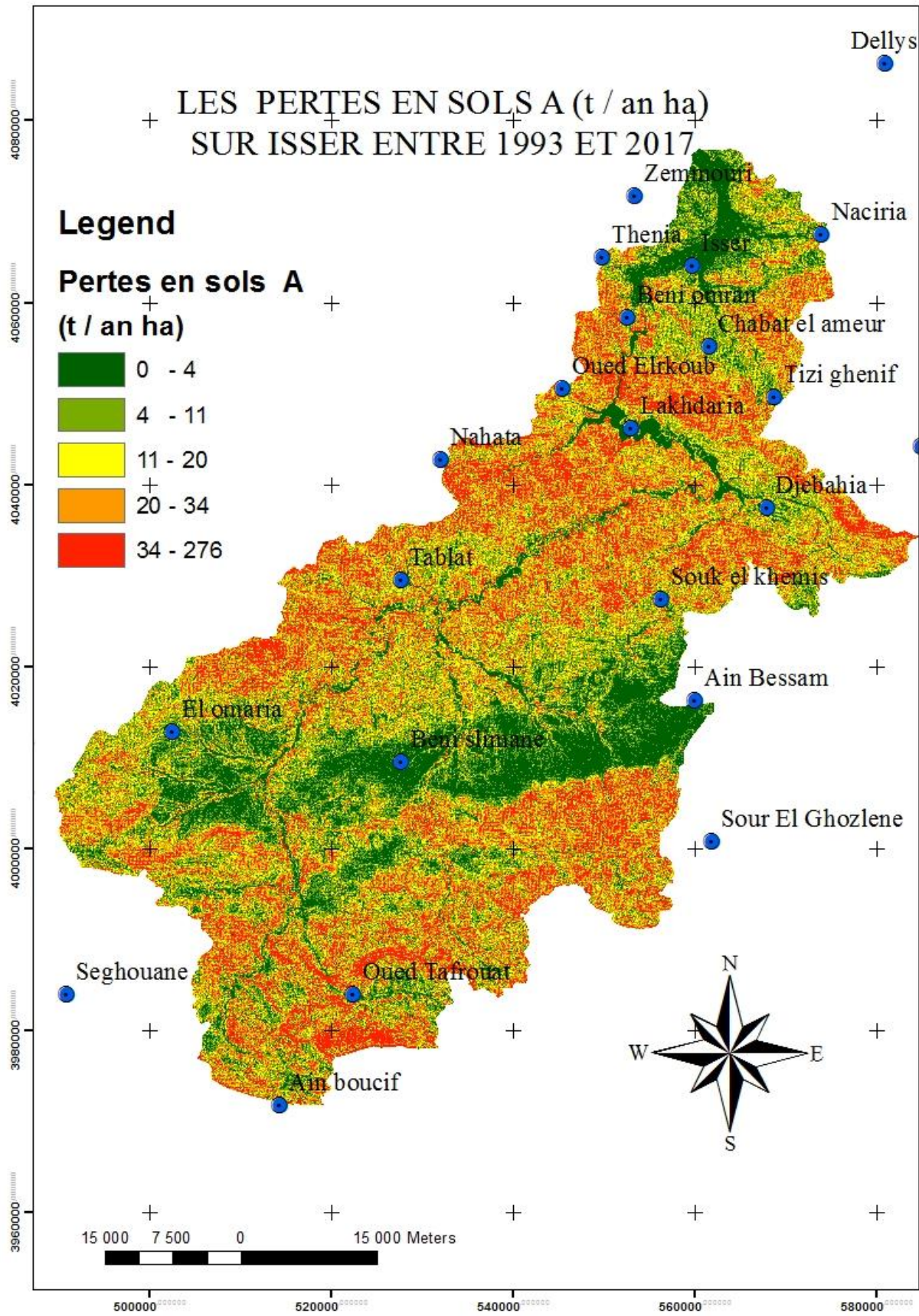


Figure III.7 Carte des pertes en sols du bassin versant d'ISSER

III.5. Conclusion

La combinaison entre Le modèle RUSLE et SIG nous donne un outil très performant pour l'évaluation et la prédiction des pertes en sol sur un bassin versant , cette évaluation donne une vues clair et globale pour les décideurs sur une duré de 20 ans , pour les orient sur les zones et les terres fortement touchées afin des les projetés , et no seulement a protection des terres agricole mais aussi pour la protection du barrage en aval qui dans ce cas barrage BENI AMRANE qui draine 4126 km² (soient 412600 hectare) . avec un perte moyen de 138 t / an hectare le volume totale de perte en sol qui sera sédimenté par un volume total de l'ordre 35.58 Hm³ par an .

Conclusion générale

L'érosion hydrique constitue un problème majeur sur le plan agricole par la dégradation des terres fertiles que sur le plan des ressources en eau par l'effet de la sédimentation qui réduit la capacité des barrages, à cet effet, la quantification et la prédiction de ce phénomène est indispensable afin de prendre des mesures de protection et de conservation des sols.

L'objet de ce travail a été de quantifier les pertes en sol sur le bassin versant d'ISSER en utilisant les SIG et le modèle RUSLE qui intervient plusieurs paramètres depuis la pluviométrie qui nous a donné l'occasion de nous familiariser avec les données pluviométriques et la méthode de régression linéaire simple pour compléter les manques de données, le facteur d'érodibilité K que nous a donné l'opportunité d'utiliser et manipuler la base de données mondiale de FAO et le facteur C et LS où l'utilisation des SIG est indispensable.

Durant ce travail on a eu l'opportunité de manipuler, traiter et préparer un nombre de méthodes, de données et de fonctionnalités du logiciel, cette opportunité nous ouvre les portes sur la modélisation d'autres phénomènes que ce soit sur le plan de recherche scientifique ou professionnel.

La combinaison entre le modèle RUSLE et SIG nous donne un outil très performant pour l'évaluation et la prédiction des pertes en sol sur un bassin versant, cette évaluation donne une vue claire et globale pour les décideurs sur une durée de 20 ans, pour les orienter sur les zones et les terres fortement touchées afin de les protéger, et non seulement pour la protection des terres agricoles, mais aussi pour la protection du barrage en aval qui est dans ce cas le barrage BENI AMRANE qui draine 4126 km^2 (soient 412600 hectares). Avec une perte moyenne de $138 \text{ t / an hectare}$, le volume total des pertes en sol qui sera sédimenté au niveau du barrage est de l'ordre 35.58 Hm^3 par an. Le calcul de A (pertes en sol) donne des résultats très alarmants sur le bassin versant d'ISSER pour prendre des décisions en urgence.

Liste des Références

(Shabban et al, 1998) Ceoenvironmental assessment of riparian zones under extreme climatic events ; a case study of representative rivers in lebanon.Mediterranean rivers and riparian zones- processes and management symposium, Zaragosa, Spain, 21 September-2October,1998 ,25per A hnlichkeitsmechanik und turbulenz forschung. Mitteil preuss, versuchants wasser und schiffsbou, Berlin n°26, Allemagne.

(Chevalier, 1995 ; boussama, 1996) Système d'aide à la planification pour la conservation des eaux et des sols (Tunisie). Système d'information géographique utilisant les données de télédétection. Act du colloque scientifique international, Hammamet. Tunisie, 1-2 Novembre 1994,

(Celik, 1996) A review of the ersion control studies during the republic in Turkey. In Kapur.S,Akça.E,Eswaran.H,Kelling.G,Vita-Finzi,Mermut A6R,Ocal A-D, editor 1st international conference on land degradation, Adan. Turkey.10-14 june 1996, 175-18

(Greco 1966) L'érosion , la défense et la restauration des sols , le reboisement en Algérie.MARA.Alger.

(Dutil, 1984) L'érosion en grande culture, revue technique des agriculteurs dynamique, N°169, France.

(BOUAICHAOUI et Nadia MEKID Tounes ;2017) contribution à l'étude de l'impacte variabilité du transport solide

(Mokhtari elhadj ;2009) contribution à l'étude du transport solide en suspension bassin de l'oued cheliff - ghrib

(Ambroise, 1999) Génèse des débits dans les petits bassins versants ruraux en milieu tempéré : 2 - Modélisation systémique et dynamique, Revue des sciences de l'eau / Journal of Water Science, Volume 12, numéro 1, 1999, 125-153.

(Boughalem kasmi mostafia ;2013) Impact des système de gestion sur la vulnérabilité des sols à l'érosion; cas du bassin versant de l'Isser- Tlemcen (Algérie)

<http://www.ma.auf.org/erosion/chapitre1/i.origine.html>

<http://www.ma.auf.org/erosion/chapitre1/ii.formes.html>

(Chebbani et al. ;1999) Etude des risques d'érosion dans le bassin versant Isser, Algérie. Bulletin Réseau Erosion

(Benaicha,a ;2011). mémoire de magister en hydraulique, étude des processus des transports solides et leur impact sur l'alluvionnement des barrages

(Ammari,a ;2012) vulnérabilité à l'envasement des barrages (cas du bassin hydrographique des côtières algérois). Thèse de doctorat d'état en hydraulique. Institut université mohamed khider .biskra

(Roose, 1994)) introduction à la GCES. Bulletin pédologique FAO

(Hadidi ,a ;2008) une nouvelle approche de la détermination de taux d'envasement des barrages, mémoire de magister en hydraulique, université aboubeker belkaid.

(Zouaoui oum elkheire adda benziane yakout ;2017) l'étude de protection contre l'érosion du bassin du barrage koudiet rosfa de la wilaya de tissemsilt

(E. Roose 1985) causes et facteurs de l'érosion hydrique sous climat tropical conséquences sur les méthodes antiérosives

(LES GUIDES TECHNIQUES DU PARC (novembre ; 2003)). Guide technique de la lutte contre l'érosion des sols (http://www.giser.be/wp-content/uploads/2013/02/guide-lutte_erosion_parc_opale.pdf)

(Yassin*M et al.2009) application du model de perte en terre revise 'RUSLE' aux terrains forestiers du plateau central du maroc

(jilali rajae.2014) etude d'impact de la variabilité des précipitations sur la dégradation des sols : cas de la région tangéroise

(Marc duchemin m. Sc. Environneme.2014),) approche géomatique pour simuler l'érosion hydrique et le transport des sédiments à l'échelle des petits bassins versants agricoles

(R.P. Stone et D. Hilborn.2000) équation universelle des pertes en terre (USLE)

(G.J. Wall et al .1997) rusle-can équation universelle révisée des pertes de sol pour application au canada

(El hafid driss. Akdim brahim.2018) quantification de l'érosion hydrique en utilisant le modèle RUSLE et déposition intégrée dans un SIG. Cas du bassin versant de l'oued isly (maroc oriental)

(L. Khali issa et al.2016) cartographie quantitative du risque d'érosion des sols par approche SIG/USLE au niveau du bassin versant kalaya (maroc nord occidental) quantitative mapping of soil érosion risk using GIS/USLE approach at the kalaya watershed (north western morocco)

(Mostephaoui t . Et la. 2013) cartographie des risques d'érosion hydrique par l'application de l'équation universelle de pertes en sol à l'aide d'un système d'information géographique dans le bassin versant d'el hamel (BOUSSAADA).

(Amal Markhi a la 2015) quantification et evaluation de l'erosion hydrique en utilisant le modèle rusle et déposition intégrés dans un sig. application dans le bassin versant n'fis dans le haut atlas de marrakech (maroc)

(M.houari zeggane-2014) Étude des hydrogrammes des crue du bassin versant ISSER(09) Algérie (W.Boumerdes)