



UNIVERSITE
Abdelhamid Ibn Badis
MOSTAGANEM

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE
LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
UNIVERSITE ABDELHAMID IBN BADIS MOSTAGANEM

Faculté des Sciences Exactes & de l'Informatique
Département de Mathématiques et d'Informatique
Filière Informatique

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES
Pour l'Obtention du Diplôme de Master en Informatique
Option : Systèmes d'information géographiques

Estimation de l'érosion potentielle des sols avec
GRASS GIS

Présenté par :

BOURASSINE Dalila.

BENABED Mokhtaria.

Encadré par :

DELALI Amina.

Année Universitaire 2012/ 2013

Remerciement

*Nous remercions en premier lieu notre Dieu
tout puissant pour avoir réalisé notre rêve et avoir atteint notre
but*

*Mille fois merci à M^e Delali qui nous a encadré et
Nous a encouragées par ses précieux conseils
Sans oublier toute personne qui a soutenu ce travail*

*A tous nos enseignants qui nous ont accompagnés pendant
la durée de notre formation.*

Merci

Dédicace

Nous dédions ce modeste mémoire à nos très chers parents qui ont souffert pour que nous puissions réussir dans notre vie.

Et nous le dédions également à tous nos frères et sœurs.

A tous nos amis, et en particulier notre groupe (2ème Années Master SIG).

A tous les enseignants de l'I.N.E.S Mostaganem.

Sans oublier notre encadreur M^{le} Delali Amina.

Résumé

L'érosion étant un problème important, une modélisation de cette dernière devient impérative afin de pouvoir gérer aux mieux les terres et de prendre les mesures nécessaires afin de la réduire.

Plusieurs méthodes existent déjà pour modéliser l'érosion potentielle des sols, mais la plus utilisées d'entre elles est la méthode RUSLE (Equation Universelle Révisée des Pertes en Sol). Cette dernière prend en considération un nombre important de facteurs, et a été testée et vérifiée à plusieurs reprises dans différentes études.

Cependant, pour avoir des résultats meilleurs, et pour réaliser des cartes d'estimations de l'érosion proches de la réalité, il devient aujourd'hui impératif d'utiliser les SIG (Systèmes d'Informations Géographiques). Parmi ces SIG, on trouve GRASS GIS. Ce dernier est un SIG gratuit, cependant il offre un ensemble de fonctionnalités comparables à celles qui existent dans les SIG commerciaux.

Un certain nombre d'étapes est à suivre afin de pouvoir réaliser la carte d'érosion potentielle, en utilisant à la fois la méthode RUSLE et GRASS GIS.

Mots clés : érosion, carte d'érosion potentielle, RUSLE, GRASS GIS, SIG.

Sommaire

REMERCIEMENT :	I
DEDICACE :	II
RESUME :	III
LISTE DES FIGURES :	IV
LISTE DES TABLEAUX:	V
INTRODUCTION:	1

Chapitre I: L'érosion potentielle du sol

1. INTRODUCTION :	2
2. DÉFINITION DE L'ÉROSION :	2
3. LES TYPES D'ÉROSION DU SOL :	2
4. LES CAUSES DE L'ÉROSION DE SOL :	3
5. LES MODÈLES D'ÉROSION :	3
5.1. KINEROS (<i>KINEMATIC RUNOFF AND EROSION</i>):	4
5.2. WEPP (<i>WATER PREDICTION PROJECT</i>):	4
5.3. LISEM (<i>LIMBURG SOIL EROSION MODEL</i>):	5
5.4. USLE (<i>UNIVERSAL SOIL LOSS EQUATION</i>):	5
5.5. MUSLE (L'ÉQUATION UNIVERSELLE DE PERTE DE SOL MODIFIÉE, EUPSM) :	5
5.6. LA MÉTHODE AOF (<i>ONSTAD FOSTER</i>) :	6
5.7. RUSLE (<i>REVISED UNIVERSAL LOSS EQUATION</i>):	7
5.8. RUSLE2:	7
6. LES FACTEURS DE L'ÉQUATION RUSLE :	8
6.1. FACTEUR R :(FACTEUR DE PLUVIOSITÉ) :	8
6.2. FACTEUR K :(FACTEUR D'ÉRODABILITÉ DU SOL) :	9

6.3.	FACTEUR LS :(FACTEURS DE LONGUEUR ET D'INCLINAISON DE LA PENTE) :	10
6.4.	FACTEUR C :(FACTEUR DE GESTION DES CULTURES) :	11
6.5.	FACTEUR P :(FACTEUR DES PRATIQUES DE SOUTIEN) :	11
7.	CONCLUSION :	13

Chapitre II: Modélisation avec GRASS GIS

1.	INTRODUCTION :	15
2.	LES DONNÉES :	15
2.1.	LES DONNÉES RASTER :	15
2.2.	LES DONNÉES VECTORIELLES :	16
2.3.	LES DONNÉES DES SITES :	19
3.	L'IMPORTATION ET L'EXPORTATION :	19
3.1.	L'IMPORTATION :	20
3.1.1.	Importer des données raster géo référencées :	20
3.1.2.	L'importation des données vectorielles :	21
3.2.	L'IMPORTATION DES DONNÉES SITES :	22
3.3.	EXPORTATION :	22
3.3.1.	L'exportation des données raster :	22
3.3.2.	L'exportation des données vectorielles :	23
3.3.3.	L'exportation des données sites :	23
4.	LES MODULES :	24
4.1.	LE MODULE R.RECLASS :	24
4.2.	LE MODULE R.MAPCALC :	25
4.3.	LE MODULE D.RAST :	25
5.	LE MODELEUR GRAPHIQUE :	26
6.	CONCLUSION :	27

Chapitre III: Application

1.	INTRODUCTION :	29
-----------	-----------------------------	-----------

2.	LA RÉGION DE L'ÉTUDE :	29
3.	LES DONNÉES UTILISÉES :	30
4.	LE CALCUL DES FACTEURS :	31
4.1.	FACTEUR D'ÉROSIVITÉ (FACTEUR K) :	31
4.2.	FACTEUR DE DÉCLIVITÉ (FACTEUR LS) :	32
4.3.	LES FACTEURS R, C, P :	35
5.	CALCUL DE L'ÉROSION POTENTIELLE:	36
5.1.	L'AFFICHAGE DE LA CARTE DE ÉROSION_CLASSE :	37
6.	LE MODELEUR GRAPHIQUE :	38
6.1.	LE MODÈLE DE FACTEUR LS :	38
6.1.1.	Déclaration des variables	38
6.1.2.	Les étapes pour calcul de facteur LS :	38
6.1.3.	Image de modèle :	40
6.2.	LE MODÈLE DE L'ÉROSION :	41
6.2.1.	Déclaration des variables :	41
6.3.	LES ÉTAPES POUR CALCUL DE L'ÉROSION :	41
6.3.1.	Image de modèle de l'érosion :	43
7.	LES AVANTAGES ET LES INCONVÉNIENTS :	43
7.1.	LES AVANTAGES :	43
7.2.	LES INCONVÉNIENTS :	44
8.	CONCLUSION :	44
	CONCLUSION:	45

Liste des figures

Figure 1: Importation d'une carte raster.....	21
Figure 2: Reclasser une carte raster.....	24
Figure 3: Le calculateur raster.....	25
Figure 4: Le module d.rast.....	25
Figure 5: Le modeleur graphique.....	26
Figure 6 : Comté d'Idaho des états unis q'amériques.....	29
Figure 7: Image de la région sous Google earth.....	30
Figure 8: La carte du facteur K.....	31
Figure 9: La carte du facteur LS.....	34
Figure 10: Le facteur R.....	35
Figure 11: Le facteur C.....	35
Figure 12: Le facteur P.....	35
Figure 13: Carte des pertes en sol.....	36
Figure 14: Carte de l'érosion potentielle du sol.....	37
Figure 16: L'ajout d'un module dans un modèle.....	38
Figure 15: Les variables du modèle LS.....	38
Figure 17: L'exécution du modèle LS.....	39
Figure 18: L'image correspondante au modèle LS.....	40
Figure 19: Les variables du modèle de l'érosion.....	41
Figure 20: Exécution du modèle de l'érosion.....	42
Figure 21: Image du modèle de l'érosion réalisé.....	43

Liste des Tableaux

Tableau 1 : Les valeurs des coefficients [Wiscmeier et Smith].....	10
Tableau 2: Les valeurs du facteur P [Wischeimeier et Smith].....	12
Tableau 3: Les cartes utilisées pour calculer le facteur LS.....	33
Tableau 4: Les cinq classes de l'érosion	42

Introduction

L'érosion des sols devient de plus en plus menaçante, et les méthodes traditionnelles qui existent déjà, pour la prévenir et protéger les terres ne suffisent plus. Dès lors, des approches différentes, et des méthodes plus sophistiquées sont nécessaires afin de la réduire. Il existe plusieurs méthodes de modélisation de l'érosion potentielle des sols. Nous allons citer quelques unes d'entre elles, mais nous nous arrêterons sur la méthode RUSLE (Equation Universelle Révisée des Pertes en Sol) pour sa considération d'un ensemble important de facteurs affectant l'érosion d'une part. Et pour sa parfaite compatibilité avec les SIG (Systèmes d'Information Géographiques). Ces derniers, non seulement ils vont aider à gérer et de construire des données spatiales de différents formats. Mais ils vont aussi permettre d'estimer l'érosion potentielle d'une région donnée, en prenant en considérations un ensemble de facteurs notamment ceux définis par la méthode RUSLE. Le SIG que nous avons choisi ici pour la réalisation de la carte de l'érosion potentielle est GRASS GIS.

Dans le premier chapitre nous allons définir l'érosion ainsi que les différentes méthodes de sa modélisation. Nous présenterons la méthode RUSLE ainsi que les différents facteurs pris en compte par cette dernière.

Dans le deuxième chapitre, nous présenterons GRASS GIS, ses spécificités ainsi que les données qu'il manipule.

Enfin, dans le dernier chapitre, nous présenterons notre application, à savoir la réalisation d'une carte d'érosion potentielle d'une région donnée utilisant l'équation RUSLE avec GRASS GIS.

Chapitre I

L'érosion potentielle du sol

1. Introduction :

L'érosion étant un problème important, une modélisation de cette dernière devient impérative afin de pouvoir gérer aux mieux les terres et de prendre les mesures nécessaires afin de la réduire.

Plusieurs méthodes existent déjà pour modéliser l'érosion potentielle des sols, mais la plus utilisée d'entre elles est la méthode RUSLE (Equation Universelle Révisée des Pertes en Sol). Cette dernière prend en considération un nombre important de facteurs, et à été testée et vérifiée à plusieurs reprises dans différentes études.

2. Définition de l'érosion :

Est un processus complexe, il concerne l'arrachement, le transfert et la sédimentation de particules sous l'action de l'eau, du vent, de l'homme ou simplement de la gravité. 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.

L'érosion est le résultat de l'interaction entre plusieurs facteurs : le climat (pluie, températures), les propriétés du sol (matière organique, stabilité structurale, capacité d'infiltration), le relief (longueur et gradient de pente), les pratiques culturales (travail du sol) et le couvert végétal. [Yassin M. Et Al, sd].

3. Les types d'érosion du sol :

On distingue plusieurs types d'érosion :

- L'érosion en nappe : Glissement de larges couches superficielles.
- L'érosion en rigoles : Concentration d'eau dans des petites dépressions comme des traces de pneus.
- L'érosion en ravine : Semblable à l'érosion en rigole mais plus importante. Les

ravines peuvent atteindre plusieurs mètres de profond. [SERVICE DE LA PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT,2008]

4. Les causes de l'érosion de sol :

Il existe un certain nombre de facteurs qui influent sur l'érosion du sol, parmi lesquels nous trouvons :

- La météo : sous l'effet des gouttes de pluie, les sols nus sont frappés et déstabilisés. En se regroupant le surplus d'eau qui ne s'infiltré pas va couler le long des pentes, formant des ruisseaux à travers champs, emportant de la terre.
- Pente : même de très faibles pentes permettent à l'eau de se mettre en mouvement. Plus la pente est forte, plus les risques d'érosion sont importants.
- Stabilité du sol : selon sa stabilité un sol s'érodera plus ou moins vite. Le passage d'un tracteur affaibli déjà passablement la structure du sol. Plus le sol est travaillé, plus sa structure sera fragile.
- Sens du travail du sol : si le travail de la terre se fait dans le sens de la pente, l'eau circulera plus facilement et privée de contrainte, prendra de la vitesse.
- Longueur des parcelles : plus la parcelle est grande et sans coupure, plus l'eau prendra de la vitesse emportant des matériaux. Au contraire de petites parcelles empêchent l'eau de s'écouler en continu, coupée dans son élan.
- Type de culture : une culture où le champ est nu permettra à l'eau d'arracher sans difficulté de la terre. Au contraire une prairie stabilisera très bien le sol et, malgré une très forte pente, le risque d'érosion restera très faible. [SERVICE DE LA PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT,2008].

5. Les modèles d'érosion :

Afin d'estimer l'érosion potentielle des sols, plusieurs modèles ont été réalisés et utilisés, en s'appuyant sur des principes différents. Les plus utilisés sont :

5.1. KINEROS (*Kinematic Runoff and Erosion*):

Lors d'une étude réalisée à l'Île de Kahoolawe à Hawaï [WAHLSTROM ET AL,1999] ont appliqué un modèle dédié à l'étude de l'érosion hydrique. Ils se sont concentrés plus spécifiquement sur le ruissellement et la quantité de sédiments transportés à l'occasion d'un épisode pluvieux. Ce modèle évènementiel se nomme KINEROS (Kinematic Runoff and Erosion). Selon celui-ci, le bassin versant est représenté par une cascade de parcelles et de canaux. À partir de cette représentation, il est possible de faire une estimation quantitative de l'infiltration, du ruissellement Hortonien (apparaît lorsque les intensités de pluie dépassent la capacité d'infiltration des sols) et de l'érosion. Trois algorithmes sont utilisés : un algorithme d'infiltration (incluant la conductivité hydraulique à saturation, la quantité de pluie infiltrée cumulée, l'écoulement capillaire net, la porosité et le stock « *initial soil water content* », un algorithme de ruissellement (basé sur la hauteur de la lame d'eau ruisselée, des constantes liées à la pente, la rugosité hydraulique et le nombre de Reynolds, la pente de la ligne d'eau et le coefficient de rugosité de Manning) et un algorithme de transport des sédiments (comportant la vitesse de l'écoulement, la vitesse de cisaillement, le diamètre des sédiments, la hauteur de l'eau ainsi que la gravité spécifique du sédiment) [WAHLSTROM ET AL,1999].

5.2. WEPP (*Water Prediction Project*):

Le ruissellement et les pertes de sol peuvent aussi être évalués à partir d'un modèle nommé Water Erosion Prédiction Project (WEPP) [BHUYAN ET AL. 2002]. se base sur de multiples paramètres dont les notions de base de l'infiltration, la surface de ruissellement, la croissance des plantes, les résidus de décomposition, l'hydraulique, le labourage, la consolidation du sol ainsi que les mécanismes d'érosion [NEARING ET AL. 1989]. Afin d'intégrer ce modèle dans les SIG, un outil a été créé. Cet outil, appelé *Geospatial Modelling of Soil Erosion* (GEMSE), est composé de plusieurs bases de données (le climat, le sol et la topographie ainsi que l'occupation du sol) [Baigorria and Romero, 2007].

5.3. LISEM (*Limburg Soil Erosion model*):

Le LISEM, est un modèle d'érosion de sol qui simule l'hydrologie et le transport de sédiments pendant et juste après un événement de précipitations dans un petit bassin versant. Le modèle a été utilisé jusqu'ici dans les B.V d'une superficie entre 10 et 300 ha. LISEM est construit pour simuler les effets de l'utilisation actuelle du sol et les effets de conservation du sol.

5.4. USLE (*Universal Soil Loss Equation*):

L'USLE utilise six facteurs : érosivité de la pluie (R), susceptibilité d'érosion du sol (k), la largeur de la pente (L), la magnitude de la pente (S), la couverture du sol et/ou gestion de cultures (C), et pratiques de conservation (P), pour estimer la perte moyenne de sols (A) pour la période de temps représentée par R, qui est généralement un an. L'équation se Résume en : $A=R*K*L*S*C*P$.

L'USLE a été développée pour :

- Prédire le mouvement annuel moyen de sols d'une pente spécifique, sous les conditions d'utilisation et gestion spécifiques.
- Orienter la sélection de pratiques de conservation pour des localités concrètes.
- Estimer la réduction de perte de sol qu'on peut obtenir avec des changements de gestion effectués par l'agriculteur et déterminer la largeur maximum tolérable de la pente pour un système de culture déterminée [WISHEMEIR ET SMITH, 1975].

5.5. Musle (*l'Équation Universelle de Perte de Sol Modifiée, EUPSM*)

MUSLE est un modèle de paramètres "groupes" qui estime le rendement de sédiment de bassins versants pour un événement pluvieux unique. Elle utilise un facteur d'écoulement pour remplacer le facteur d'énergie pluviale de l'USLE.

L'équation est donnée par : $Y = 11,8(Q \times qp)^{0.56} * K * L * S * C * P$.

Y : Rendement de sédiment du bassin versant en t

Q : Volume d'écoulement par tempête en mètres cubiques (m^3)

qp : Vitesse maximale de débit en m^3 seconde (s), et les autres facteurs sont pareils à l'USLE. Les unités de Y se convertissent en t ha quand Q est en mm et qp est en mm h. Le facteur d'écoulement ($Q * qp$) fournit une source d'énergie et y, comme le taux d'écoulement par unité de superficie diminue à mesure que la superficie de drainage augmente, le modèle contient un taux de déplacement implicite. MUSLE est utile dans les bassins versants avec des superficies de $100 km^2$ environ.

Dans ce sens, la MUSLE a été développée pour surmonter quelques limitations de l'USLE. Ses avancées incluent :

- Computerisation d'algorithmes pour faciliter les calculs.
- Nouvelles valeurs d'érosivité de pluies-écoulement (R) dans l'ouest des USA (Conditions arides) basées sur plus de 1200 localités.
- Développement d'un terme de susceptibilité du sol à l'érosion périodiquement variable (K) et des méthodes alternatives d'estimation de K quand le monogramme n'est pas applicable.
- Une nouvelle méthode pour calculer le facteur couverture-gestion (C), utilisant les sous-facteurs qui incluent l'utilisation préalable de la terre, de cultures, couverture végétale du sol (incluant des fragments de roche sur la superficie), et rugosité du terrain.
- Nouvelles formes d'estimer les facteurs de largeur et magnitude de la pente (LS) qui considèrent les pourcentages d'érosion en sillons et inter-sillons.
- La capacité d'ajuster le LS pour les pentes de forme variable ; et de nouvelles valeurs de pratiques de conservation (P) pour les cultures dans les bandes alternées, utilisation de drainage souterrain et prairies.

5.6. La Méthode AOF (*Onstad Foster*) :

La méthodologie AOF est un processus mathématique pour estimer les potentiels d'écoulement et transport du sol, incluant les proportions relatives d'érosion sur les sillons et inter-sillons, pour les versants composés par un ou plus de deux segments avec des caractéristiques différentes. Elle utilise une version modifiée de l'USLE pour estimer le détachement du sol.

L'équation est donnée par : $Y=W \times K \times L \times S \times C \times P$ ou :

Y : Rendement de sédiment en t ha

W : Terme d'énergie, qui est la somme des composantes d'énergie pluviale et d'écoulement.
[ONSTAD ET FOSTER ; 1975].

5.7. Rusle (*Revised universal loss equation*):

Pour quantifier les pertes en terre dues à l'érosion, l'un des modèles les plus utilisés est le modèle de l'équation universelle des pertes en sol (USLE). Cette équation, développée par [WISCHMEIER ET SMITH, 1978] pour les milieux cultivés, prend en compte les paramètres suivant : l'érosion pluviale, la topographie, la couverture végétale et la protection du sol [DEUMLICH ET AL, 2006]. Ce modèle empirique de l'érosion du sol a été révisé par l'équation universelle des pertes en sol révisée (RUSLE) [RENARD ET AL, 1997].

Cette méthode se base sur les paramètres suivants : l'érosion pluviale, l'érosion du sol, la pente, la couverture du sol et les pratiques qui y sont faites ainsi que les mesures de conservations mises en place [YUE-QING ET AL, 2009].

Elle s'exprime avec l'équation suivante : $A = R * K * LS * C * P$.

5.8. Rusle2:

L'équation de rusle2:

$$A = R * K * LS * C * P.$$

RUSLE2 est un logiciel avancé et convivial modèle qui prédit à long terme, l'érosion moyenne annuelle par de l'eau. Il fonctionne dans un environnement Windows, et peut être utilisé pour un large éventail de terres cultivées, terres à foin, pâturage, la construction et les sites forestiers. Développé conjointement par l'USDA-agricole Research Service (ARS) de l'USDA-naturel Ressources Conservation Service (NRCS), et le Université du Tennessee, RUSLE2 a été écrit principalement pour guider la planification de la conservation, de l'inventaire les taux d'érosion et de la prestation de sédiments estimation

Le modèle RUSLE2 calcule la perte de sol pour chaque jour de l'année. Le calcul final (moyenne la perte de sol annuelle) est la somme de toutes les valeurs quotidiennes. RUSLE2 inclut de nouvelles méthodes de traitement résidu, y compris

le resurfaçage de résidus par les outils comme les cultivateurs de terrain.

6. Les Facteurs de l'équation Rusle :

6.1. Facteur R :(facteur de pluviosité) :

La pluie est l'un des principaux facteurs de l'érosion des sols, ceci se produit lorsque les eaux pluviales ne peuvent plus s'infiltrer dans le sol et arrachent les particules du sol en emportant des particules. Ainsi, le rôle du facteur R est de caractériser la force érosive des précipitations sur le sol. Il considère les différences régionales du climat selon le type, l'intensité et la fréquence des précipitations. [Bissonnais *et al* ; 2002].

But :

- 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, 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). [Coote et A.N.Hayhoe, 1997]
- 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 [Wischmeier et Smith ; 1978].

L'équation de facteur de pluviosité : $R = E * I_{30}$.

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

- ✓ $E = 210 + 89 \log_{10} *I$
- ✓ $I =$ l'intensité de pluie.

- I_{30} = l'intensité maximale des pluies en 30 minutes exprimées en mm/heure.
[WICHEMEIER ET SMITH ;1978]

6.2. Facteur K :(facteur d'érodabilité du sol) :

L'érodabilité d'un sol se traduit par la résistance inhérente au détachement et au transport des particules par l'eau. Les paramètres intrinsèques du sol (stabilité structurale, croûte de battance, état dispersé, matière organique, texture) contribuent largement à influencer la sensibilité des sols à l'érosion [ROOSE ET SARRAILH, 1990]. Le facteur K est fonction de la texture, la teneur du sol en matière organique, et la perméabilité du sol.

But

- Le facteur d'érodabilité du sol (K) représente le taux de perte en sol par unité de surface.
- 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.
[WALL ET AL; 1988].

Le calcul d'une valeur K est basé sur cinq paramètres, caractérisés couramment à l'aide de descriptions standard des profils pédologiques et d'analyses de laboratoire. Ces cinq paramètres sont les suivants :

- ✓ le pourcentage de limon et de sable très fin (de 0,05 à 0,10 mm),
- ✓ le pourcentage de sable supérieur à 0,10 mm,
- ✓ la teneur en matières organiques,
- ✓ la structure,
- ✓ la perméabilité.

$$K=2.1 * M^{1.14} * 10^{-6} * (12-MO) + 0.0325 * (b-2) + 0.025 * (c-3)$$

$$M = (\text{pourcentage de limon + sable très fin} * (100 - \text{pourcentage d'argile}))$$

MO = pourcentage de matières organiques

b = code de structure des sols utilisé dans la classification des sols

c = classe de perméabilité des profils. [WISCHEMEIER ET SMITH ; 1978]

6.3. Facteur LS :(facteurs de longueur et d'inclinaison de la pente) :

La longueur, la forme et surtout l'inclinaison de pente sont des paramètres qui influencent considérablement l'érosion des sols [ROOSE, 1994]. La longueur de pente conditionne la vitesse de ruissellement et le transport des particules croît en fonction de la longueur de la parcelle. De même, les transports solides croissent de façon exponentielle avec le pourcentage de pente [ZINGG, 1940 ; HUDSON, 1973 ; ROOSE, 1994]. Ces processus ont pour effet de former des rigoles et des creusements à la surface du sol. Les facteurs L (longueur de pente) et S (angle de la pente en %) sont le plus souvent combinés en un facteur unique adimensionnel LS afin de définir l'effet de l'érosion en nappe et en rigoles. L'angle et la longueur de pente peuvent être calculés selon l'équation de [WISCHMEIER ET SMITH ; 1978].

But :

- 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. [WALL ET AL ; 1988]

Equation de Facteur LS :

$$LS = (0.065 + 0.0456 * S + 0.006541 * S^2) * (L/72.5)^M.$$

L: correspond à la longueur de la pente du site (en mètres).

S : le pourcentage(%) de l'inclinaison de la Pente.

M : correspond à un coefficient lié au rapport entre l'érosion en rigoles est égal à :

S	<1%	>=1% et <3%	>=3% et 5	>=5%
M	0.2	0.3	0.4	0.5

Tableau 1 : Les valeurs des coefficients [Wiscmeier et Smith ; 1978]

6.4. Facteur C :(facteur de gestion des cultures) :

Le facteur C est défini comme le rapport entre les pertes en sols nus sous des conditions spécifiques et les pertes en sols correspondants aux sols sous système d'exploitation [WISCHMEIER ET SMITH, 1978].

But :

- 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. [SHELTON ; 2002]

L'équation de Facteur C :

$$C = (SLR \times EI)$$

- SLR = le rapport de perte de sol (rapport entre la perte de sol à la suite de pratique spécifique durant la période culturale et la perte de sol sur un sol nu situé dans un champ similaire)
- EI = l'indice d'érosivité.

6.5. Facteur P :(facteur des pratiques de soutien) :

Le facteur P représente, par définition, le rapport de la perte de sol liée à une pratique de soutien particulière à la perte correspondante liée aux cultures et aux récoltes et ensemencement en amont et en aval de la pente [WISCHMEIER ET SMITH ; 1978].

P correspond au facteur de pratique de conservation. Il reflète les effets des pratiques qui réduisent la quantité d'eaux de ruissellement et la vitesse de ruissellement et qui réduisent de ce fait l'importance de l'érosion. Le facteur P représente le ratio des pertes de terre associées à une pratique de conservation aux pertes de terre associées à la culture en lignes dans le sens de la pente. Les pratiques de conservation les plus couramment utilisées sont le travail du sol à contre-pente, la culture suivant les courbes de niveau et la culture en bandes [STONE ET D. HILBORN ; 2000].

Le facteur P prend en compte les pratiques de conservation du sol. Les pratiques

antiérosives concernent toutes les techniques culturales mises en œuvre pour diminuer le ruissellement et l'érosion, telles que le labour en courbe de niveau, le buttage, ou le billonnage en courbe de niveau.

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. [VAN VLIET ET AL ; 1976].

Les pratiques de soutien courantes sont :

- la culture en pente transversale,
- la culture en courbes de niveau,
- la culture en bandes alternantes,
- l'aménagement de terrasses et l'aménagement de voies d'eau gazonnées.

Pratique de conservation	Valeur de P
Aucune pratique de conservation	1,00
Culture en pente transversale	0,75
Culture suivant les courbes de niveau (pentes de 3 à 8 %)	0,50
Culture en bandes alternantes, en pente transversale (pentes de 3 à 8 %)	0,38
Culture en bandes alternantes, en courbes de niveau (pentes de 3 à 8 %)	0,25

Tableau 2: Les valeurs du facteur P [Wischmeier et Smith ; 1978]

7. Conclusion :

L'avantage des modèles quantitatifs et empiriques de ce type, basés sur l'expérience, réside dans le fait qu'ils prennent en compte l'ensemble des facteurs jouant un rôle prépondérant dans les processus d'érosion. Par ailleurs, l'usage de l'équation RUSLE est largement facilité par un déploiement aisé dans les Systèmes d'Informations Géographiques (SIG). Le développement des SIG et une diffusion plus grande de l'information géographique numérique expliquent le succès de cette approche.

Le SIG que nous devons utiliser, devra non seulement manipuler des données raster et vecteur, mais il devra aussi pouvoir importer des données à partir d'autres SIG. Il devra aussi fournir un ensemble de fonctions qui vont permettre d'une part de convertir les données, et d'autre parts de réaliser différents calculs sur ces dernières. GRASS GIS est parmi les SIG qui répondent à ces conditions.

Chapitre II

Modélisation avec GRASS GIS

1. Introduction :

Un Système d'Information Géographique (SIG) est une collection de logiciels qui nous permettent de créer, visualiser, rechercher et analyser des données géo spatiales. Parmi ces SIG, on trouve GRASS GIS.

C'est un SIG open source (logiciel gratuit et code source accessible) qui est actuellement utilisé dans des milieux universitaires et commerciaux partout dans le monde, ainsi que par de nombreuses agences gouvernementales et des sociétés de conseil en environnement.

Dans ce chapitre, nous allons voir tous les éléments liés à GRASS GIS et qui vont par la suite nous permettre de réaliser une carte de prédiction de l'érosion en appliquant le modèle RUSLE.

2. Les données :

2.1. Les données raster :

L'un des types de données géo spatiales est qualifié de donnée raster/matricielle, ou plus communément un raster. Les formes les plus facilement reconnaissables de donnée raster sont les images satellites numériques ou les photos aériennes. Les ombrages de pentes ou les modèles numériques de terrain sont également représentés en raster.

Un raster est une grille régulière qui se compose de cellules ou, dans le cas de l'imagerie, de pixels. Il y a un nombre déterminé de lignes et de colonnes. Chaque cellule a une valeur numérique et une certaine taille géographique. [TARA ATHAN ET AL, 2010].

Les données raster sont stockées dans GRASS sous forme d'une matrice de valeurs, représentent soit un champ continu (surface), une image, ou des objets géométriques (points, lignes, surfaces) correspondant à des champs distincts. Pour les surfaces, les valeurs de la matrice sont attribuées aux points centraux des cellules de la grille. Ils représentent les valeurs réelles mesurées ou calculées (par exemple, l'altitude, la pente, la température). Pour les champs discontinus (images, objets géométriques), les valeurs sont affectées à la surface de la cellule entière et représentent le nombre de catégories. [MARKUS NETELER ET HELENA MILASOVA, 2005].

Une couche raster est stockée dans GRASS comme un ensemble de fichiers, qui comprennent les données raster et leur description, organisé comme suit:

- matrice de valeurs dans un format compressé qui dépend du type de la donnée raster (entier, flottant ou une grille 3D);
- carte-tête qui contient des données de géo-référencement, la résolution, le nombre de lignes et de colonnes, la gamme de valeurs et l'histogramme ;
- fichier de catégorie optionnelle, qui contient du texte ou des étiquettes numériques ;
- table de couleurs en option ;
- horodatage en option ;
- fichier historique qui contient des métadonnées telles que la source de données ou d'autres informations fournies par l'utilisateur ;
- table de reclassement pour une carte qui est une reclassification d'une autre carte.

Toutes ces informations sont stockées dans les sous-répertoires correspondants dans le répertoire Lieu / MAPSET.

GRASS permet également à l'utilisateur de créer des calques de cartes raster en redéfinissant les classes. Le reclassement calque ne contient pas de données, mais sert de référence à une autre couche de carte avec une table de reclassement qui est utilisée pour reclasser les valeurs de la carte raster en référence. [MARKUS NETELER ET HELENA MILASOVA, 2005].

2.2. Les données vectorielles :

Les données vectorielles sont également utilisées dans les applications géo-spatiales. Les vecteurs sont une façon de décrire un emplacement en utilisant une série de coordonnées, chaque coordonnée se référant à une localisation géographique utilisant un système de valeurs en x et en y.

Les données vectorielles prennent trois formes, chacune progressivement plus complexe et s'appuyant sur la précédente.

- les Points – une simple coordonnée (x y) qui représente un emplacement géographique ponctuel ;
- les Lignes – plusieurs coordonnées (x1 y1, x2 y2, x3 y4. . . xn yn) reliées ensemble selon un ordre précis, tel que pour dessiner une ligne du point (x1 y1) au point (x2 y2) et ainsi de suite.
- les Polygones – quand les lignes sont reliées par plus de deux points, avec le dernier point situé au même endroit que le premier, nous appelons le résultat un polygone. [TARA ATHAN ET AL, 2010].

Les caractéristiques : ligne, région et point peuvent être représentés dans GRASS par le modèle de données vectorielles. Il stocke la géométrie, les attributs et la topologie de la caractéristique. Trois types de vecteurs différents sont utilisés pour stocker les polygones (appelés domaines de vecteur dans l'herbe), des lignes (lignes vectorielles) et les points (sites, vectoriels). Ceux-ci sont convertibles à partir des modèles de données de sites d'herbes indigènes.

Lignes vectorielles et les zones ont des données d'attribut assignées comme un certain nombre de catégories et une étiquette de catégorie optionnelle. Tant numéro de la catégorie et de la catégorie étiquette peut être partagé avec d'autres vecteurs. Contrairement à d'autres systèmes, l'unique vecteur interne ID n'est pas visible pour l'utilisateur dans GRASS. Pour attribuer des informations d'attributs vecteur de données, un point d'étiquette, qui relie les informations d'attribut à la géométrie données, est nécessaire. Alors que les lignes de vecteur ont le point d'étiquette placée sur la ligne, les zones de vecteurs garder leur point d'étiquette à l'intérieur de la zone. GRASS est capable de gérer un seul attribut par vecteur en interne. Il s'agit de la structure logique des numéros de catégorie de données vecteurs de GRASS et des étiquettes.

Le modèle de données de vecteur GRASS comprend topologie, décrivant les relations spatiales entre les éléments graphiques qui définissent l'emplacement de fonctionnalité et de la géométrie.

Avec ce type de structure de données, la frontière commune entre les deux domaines adjacents est stockée sur une seule ligne, et les nœuds partagés ne doivent

pas être dupliqués.

Avec des informations topologiques, il est possible de répondre aux questions suivantes à partir d'un ensemble de données de vecteur :

- trouver des relations de voisinage entre les objets;
- analyser si un objet contient un autre objet (zones insulaires);
- trouver intersections d'objets;
- analyser le voisinage de deux objets.

Les modalités des données vectorielles de numérisation dans un SIG topologique sont données dans le numérisation section.

GRASS permet aux utilisateurs de stocker la composante géométrique d'une carte vectorielle couche dans le format binaire de vecteur, qui est la valeur par défaut, et éventuellement en Format vectoriel ASCII, principalement utilisé pour l'échange de données ou à la modification d'un texte éditeur. Les étiquettes de catégorie sont toujours stockées au format ASCII, et à la fois le numéro de catégorie de fichiers et le fichier des étiquettes de catégorie sont partagés entre ASCII et le format de vecteur binaire.

Il est généralement recommandé de stocker les caractéristiques de la ligne de vecteur et de la zone de vectrices fonctions de calques séparés. Données vectorielles SIG sont disponibles dans une large gamme de formats différents, avec pas de norme unique disponible, bien que certains formats (par exemple, forme ESRI) sont plus fréquents que d'autres. En raison de la structure complexe de données, l'échange de données vectorielles est souvent plus compliqué que ce qui est le cas pour les données raster. **[Markus Neteler et Helena milasova, 2005].**

2.3. Les données des sites :

En plus du format vectoriel, caractéristiques qui sont spatialement référencée à un seul point peut également être stocké dans le format de site GRASS. Notez que d'autres SIG le logiciel ne peut pas supporter la manipulation de données de site séparément à partir des données vectorielles.

Le format ASCII sites multidimensionnel, multi-attribut inclut une coordonnée entrée suivie d'une catégorie (avec un # comme préfixe), virgule flottante en option attributs (comme préfixe%), et des étiquettes de type chaîne de caractères optionnelle (@ comme préfixe) tous des chaînes de caractères qui comprennent un espace doivent être placées entre guillemets.

Les coordonnées sont séparées par une barre verticale tandis que le reste des champs sont séparés par un espace.

Le modèle de sites GRASS prend également en charge un en-tête en option qui décrit les données stockées dans le fichier d'emplacements.

L'exemple suivant de profil du sol entré de données comprend les coordonnées de localisation abscisse et ordonnée, ID du site comme une catégorie entière, la valeur du pH en virgule flottante attributs, et de chaînes de caractères décrivant la texture des sols et du couvert végétal. Dans notre par exemple, l'en-tête de fichier ne comporte que deux lignes décrivant le nom du fichier et l'étiquette pour chaque champ.

[MARKUS NETELER ET HELENA MILASOVA, 2005].

3. L'importation et l'exportation :

Cette fonctionnalité est importante, vu que la plupart des données disponibles sont dans des formats différents de ceux de Grass GIS. Par exemple, concernant les données disponibles sur le web, la plupart d'entre elles est sous un format compatibles ArcGIS d'Esri. De ce fait, il devient important de, non seulement pouvoir importer des données mais aussi de les exporter dans un format compatibles avec d'autres SIG.

3.1. L'importation :

3.1.1. Importer des données raster géo référencées :

Lors de l'importation des données raster, il faut distinguer trois types de format raster :

- Formats d'image binaires, qui incluent des valeurs entières positives (par exemple : JPG, PPM, PNG);
- Formats raster binaires : entier et flottant en charge, à la fois négatives et les valeurs positives, des bandes uniques et multiples, des résolutions simples et multiples (tels que ERDAS IMG, HDF, GeoTIFF);
- Formats raster ASCII, qui peuvent avoir des valeurs entières et flottantes, à la fois positives et négatives (par exemple, ARC-ASCII, ASCII-GRID, GRASS-ASCII).

Tous les formats courants de trame SIG sont pris en charge. Notez que seuls quelques-uns d'entre eux (par exemple, ASCII) gèrent les valeurs des points négatifs et flottants. Lors de l'obtention des données, assurons-nous d'obtenir des informations sur le système de coordonnées (projection, donnée, etc.). Pour certains formats, les métadonnées sont directement stockées dans des fichiers de support qui sont lues lors de l'importation des données.

La plupart des cartes raster peuvent être importés avec `r.in.gdal`. Elle exige le GDAL. Cependant, cependant il existe plusieurs types d'importation :

- Importation de fichiers raster ASCII : Les données raster au format ASCII peuvent être dans différents formats SIG. Outre le GRASS format ASCII raster (soutenu par `r.in.ascii` et `r.out.ascii`), le format ASCII GRID ARC / INFO est couramment utilisé. Il peut être importé par `r.in.gdal`. Les données dans ARC / INFO GRID ASCII ont parfois un fichier `map.prj` associé qui contient des informations de projection. S'il n'est pas disponible, l'indicateur `-o` dans `r.in.gdal` nous permet d'utiliser les informations de projection actuelle de l'emplacement.
- Importation des fichiers binaires GRID ARC / INFO. L'ARC / INFO Binary GRID couvertures peuvent être importés directement en utilisant `r.in.gdal`.

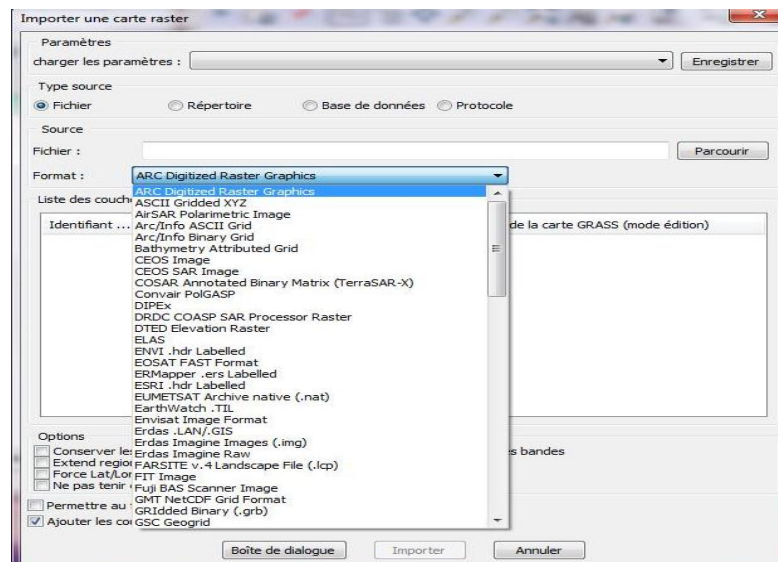


Figure 1: Importation d'une carte raster

On entre le format et la carte qui doit être importée.

Importation des fichiers raster dans les formats d'image courants. Nous pouvons importer directement des cartes raster et des images dans les formats suivants : PNG (Portable Network Graphics), PNM (netpbm), non compressé GIF, TIFF et JPEG. .

[Markus Neteler et Helena milasova, 2005].

3.1.2. L'importation des données vectorielles :

Après l'exécution de la commande appropriée, les données vectorielles importées sont stockées dans le format de vecteur binaire de GRASS. Pour chaque couche de carte vectorielle, la topologie sera construite. Cela se fait soit par le module d'importation en spécifiant le pertinent drapeau, soit après l'importation en utilisant le module **v.support**. L'état réel de la topologie peut être interrogé avec **v.info**. Comme pour les données raster, il existe plusieurs types d'importations :

- Importation de fichiers de forme : les données vectorielles sous la forme ESRI sont les plus couramment utilisées, et sont importés en utilisant le module **v.in.shape**. Il est important de savoir que les fichiers de forme ne sont pas stockés dans un format topologique.
- Les données vectorielles dans le format ESRI E00 : sont importées avec **m.in.e00**. Le format E00 est préférable pour les fichiers SHAPE, car il conserve au mieux la structure de données ainsi que l'information de

projection.

- Importation de fichiers vectoriels ASCII : pour les lignes, les points de l'étiquette sont positionnés sur les lignes vectorielles. Pour les polygones, les points labels sont stockés à l'intérieur des polygones. Chaque ligne d'un polygone est écrite dans un fichier ASCII qui peut être édité avec un éditeur de texte. La carte de vecteur ASCII peut être converti en un binaire de GRASS avec le module **v.in.ascii**.

3.2. L'importation des données sites :

Il existe plusieurs approches pour importer une couche de carte des sites. Les données du site peuvent être entrées directement dans la base de données GRASS en copiant un fichier ASCII dans la forme prescrite dans les `site_lists` / répertoire à l'emplacement / Répertoire MAPSET, ou les données peuvent être importées à partir d'un certain nombre de prise en charge formats (par exemple, CSV, Arc View, dBase, MapInfo). Enfin, les points peuvent être numérisés à partir d'une carte.

GRASS fournit des modules pour importer des données ponctuelles dans différents formats comme **s.in.mif** de données ponctuelles MapInfo, **s.in.shape** pour ArcView, **s.in.atkisdgm** pour l'allemand ATKIS (format de transfert de données d'élévation), et **s.in.dbf** pour les données de base. Les données site mesurées par GPS peuvent être importées en tant que sites utilisant **s.in.garmin.sh** ou des données vectorielles en utilisant **v.in.garmin.sh** et puis convertis en sites utilisant **v.to.sites**. Horodateurs ou des plages de temps sont soutenu avec un paramètre de date pour **s.in.ascii** et **s.in.dbf**.

Importation de tables ASCII : Point de données en format ASCII peuvent être importés directement avec **s.in.ascii**. [Markus Neteler et Helena milasova, 2005].

3.3. Exportation :

3.3.1. L'exportation des données raster :

L'exportation de données raster peut être fait de plusieurs façons. Un ensemble de modules d'exportation existe qui nous permet d'écrire différents formats:

- GRASS ASCII (r.out.ascii), ARC / INFO ASCII GRID (r.out.arc),
- BIL (r.out.bil), tableau binaire (r.out.bin), PPM (r.out.ppm),
- MPEG (r.out.mpeg), TIFF (r.out.tiff) et TARGA (r.out.tga).

Les modules d'exportation peuvent être utilisés sur la ligne de commande ainsi que de façon interactive avec les menus. Quelques modules tels que l'ARC / INFO GRID ASCII, GRASS ASCII et PPM exporter ces modules en option nous permettent d'utiliser la tuyauterie UNIX.

r.out.gdal permet à un utilisateur d'exporter une couche raster GRASS dans n'importe quel format supporté raster GDAL.

3.3.2. L'exportation des données vectorielles :

L'échange de données de données vectorielles de l'herbe avec les autres SIG est soutenu dans divers formats :

- Exporter au format SHAPE: pour exporter des fichiers vecteurs de GRASS pour ESRI SHAPE format, le v.out.shape de module peut être utilisé. Un fichier vectoriel de GRASS être exporté vers la forme peut contenir deux lignes vectorielles et des polygones vectoriels. Les types de vecteurs stockés peuvent être vérifiés avec v.info qui signale si la topologie est présente, le nombre des étiquettes de catégorie, des lignes vectorielles, des zones et des îles (zones dans les régions).
- Exporter au format E00 : un format recommandé pour l'herbe d'exportation vecteur de données est le format ESRI E00. Elle est réalisée par v.out.e00, qui écrit un plan de vecteur à un ARC / ligne / couverture polygonale INFO.

Exporter en format vectoriel GRASS ASCII : Le module v.out.ascii nous permet d'exporter une carte de vecteur de GRASS au format ASCII GRASS.

3.3.3. L'exportation des données sites :

Les données du site peuvent être exportées vers un fichier ASCII externe par **s.out.ascii**. le **s.out.e00** programme est conçu pour créer un arc / INFO E00 de points ASCII image. Sinon, des données ponctuelles peuvent être converties en données

raster par **s.to.rast** et exportés vers l'ARC / INFO GRID ASCII par **r.out.arc** ou autre format raster SIG. [Markus Neteler et Helena milasova, 2005].

4. Les modules :

Un des points forts de GRASS est le groupement de toutes ses fonctionnalités en modules qui sont accessibles soit à partir de son interface graphique soit en utilisant les lignes de commande. Parmi ces modules nous trouvons :

4.1. Le module **r.reclass** :

Il crée une couche de la carte de sortie basé sur un nombre entier raster couche d'entrée. La couche de carte de sortie sera un reclassement de la couche de carte d'entrée basé sur des règles de reclassement en entrée à **r.reclass**.

Lorsque chaque ligne d'entrée spécifie les valeurs de la catégorie dans la couche raster d'entrée à être reclassés à la nouvelle valeur de la catégorie **output_category**. Spécification d'une étiquette qui doit être associé à la nouvelle carte catégorie de couche de sortie est facultative. S'il est spécifié, il est enregistré comme l'étiquette de catégorie pour la nouvelle valeur de la catégorie.

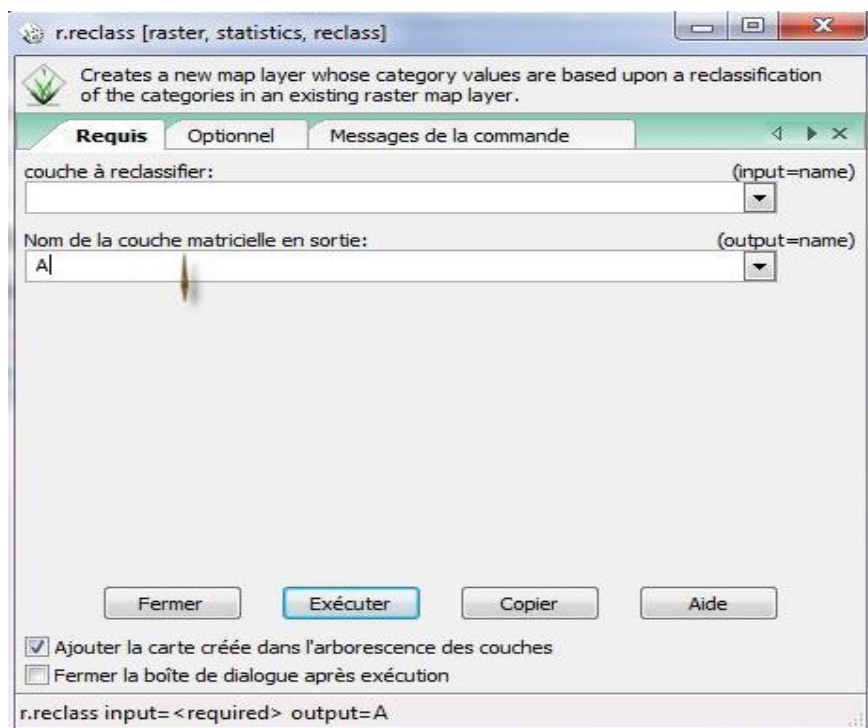


Figure 2: Reclassement d'une carte raster

4.2. Le module r.mapcalc :

Ce module effectue des opérations arithmétiques sur une ou plusieurs cartes rasters afin de créer une nouvelle carte. Il offre la possibilité d'utiliser un certain nombre d'opérateurs arithmétiques et logiques ainsi qu'un ensemble de fonctions définies.



Figure 3: Le calculateur raster

4.3. Le module d.rast :

On utilise ce module pour ajouter une carte raster autant que couche à l'espace de travail et l'afficher. Pour les cartes vecteurs, on utilise le module **d.vect**

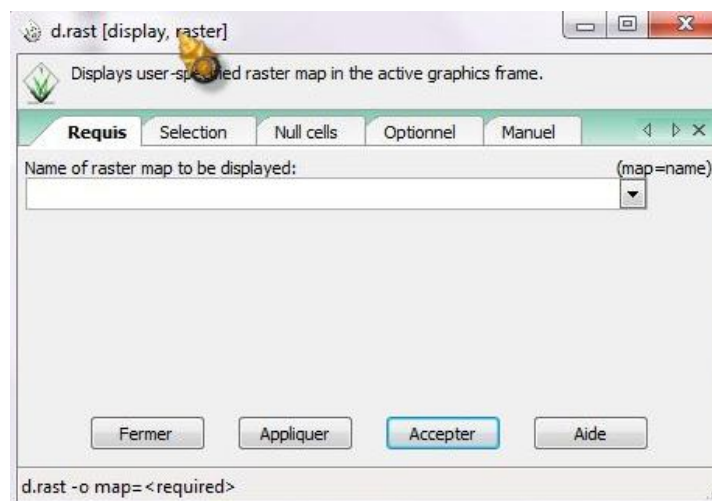


Figure 4: Le module d.rast

5. Le modeleur graphique :

Le modeleur graphique est une extension wxGUI qui permet à l'utilisateur de créer, modifier et gérer les modèles. Il est disponible sur le menu "Fichier | modeleur graphique" du menu. Le modélisateur permet actuellement de:

- définir des actions (modules de GRASS)
- définir les éléments de données (raster, vecteur, raster 3D)
- définir les relations entre les données et les mesures à prendre
- valider le modèle
- exécuter modèle
- Les paramètres du modèle de magasin à l'image (GRASS fichier de modèle .
* Gxm)
- exporter les paramètres du modèle de script Python
- exporter le modèle de fichier d'image.

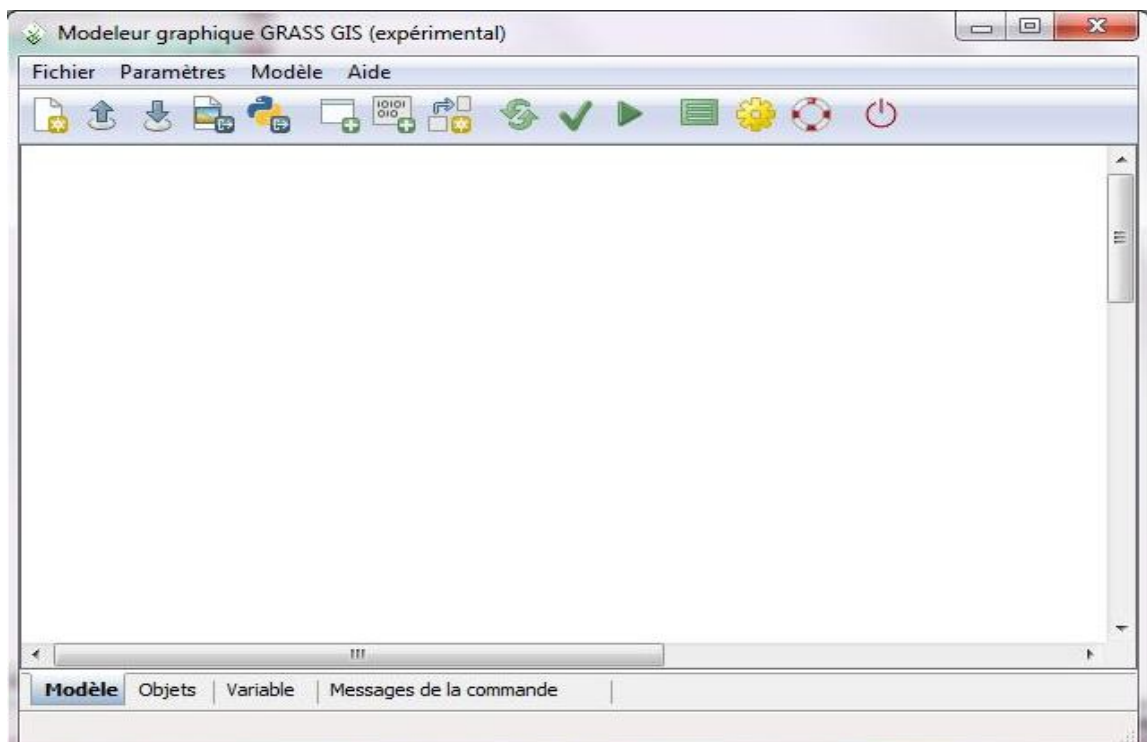


Figure 5: Le modeleur graphique

6. Conclusion :

Bien que GRASS ait évolué vers un SIG à usage général, son atout majeur reste la modélisation et l'analyse environnementale.

En ce qui concerne les anciennes versions, des améliorations significatives ont été mises en œuvre pour renforcer sa viabilité. À cet égard, l'interopérabilité est perçue comme un élément crucial dans le développement de GRASS, en s'appuyant sur des bibliothèques d'échange de données largement utilisées. Les principales motivations pour l'utilisation du logiciel sont ses capacités analytiques fortes pour les deux données matricielles et vectorielles (dans l'espace 2D et 3D) ainsi que l'exploration et la visualisation graphique des données. Des éléments que nous allons vérifier dans le chapitre suivant.

Chapitre III

Application

1. Introduction :

Dans ce chapitre nous allons expliquer les étapes que nous avons suivi pour réaliser notre carte d'érosion. Après avoir choisi une région d'étude, et obtenu les données nécessaires, nous avons suivi un certain nombre d'étapes afin d'obtenir à la fin la carte de l'érosion potentielle de la région en question.

2. La région de l'étude :

Notre étude porte sur une région de l'état de l'Idaho des Etats-Unis d'Amérique, plus précisément, elle s'étend sur les comtés d'Elmore, d'Ada et de l'Owyhee. Elle s'étend de -116.513 est à -115.03 ouest. Et de 43.63 nord à 42.51 sud suivant la projection NAD83 / UTM zone 11N. Cette région a été choisie du fait de l'existence de l'érosion ainsi que de la disponibilité des données.



Figure 6 : Comté d'Idaho des états unis

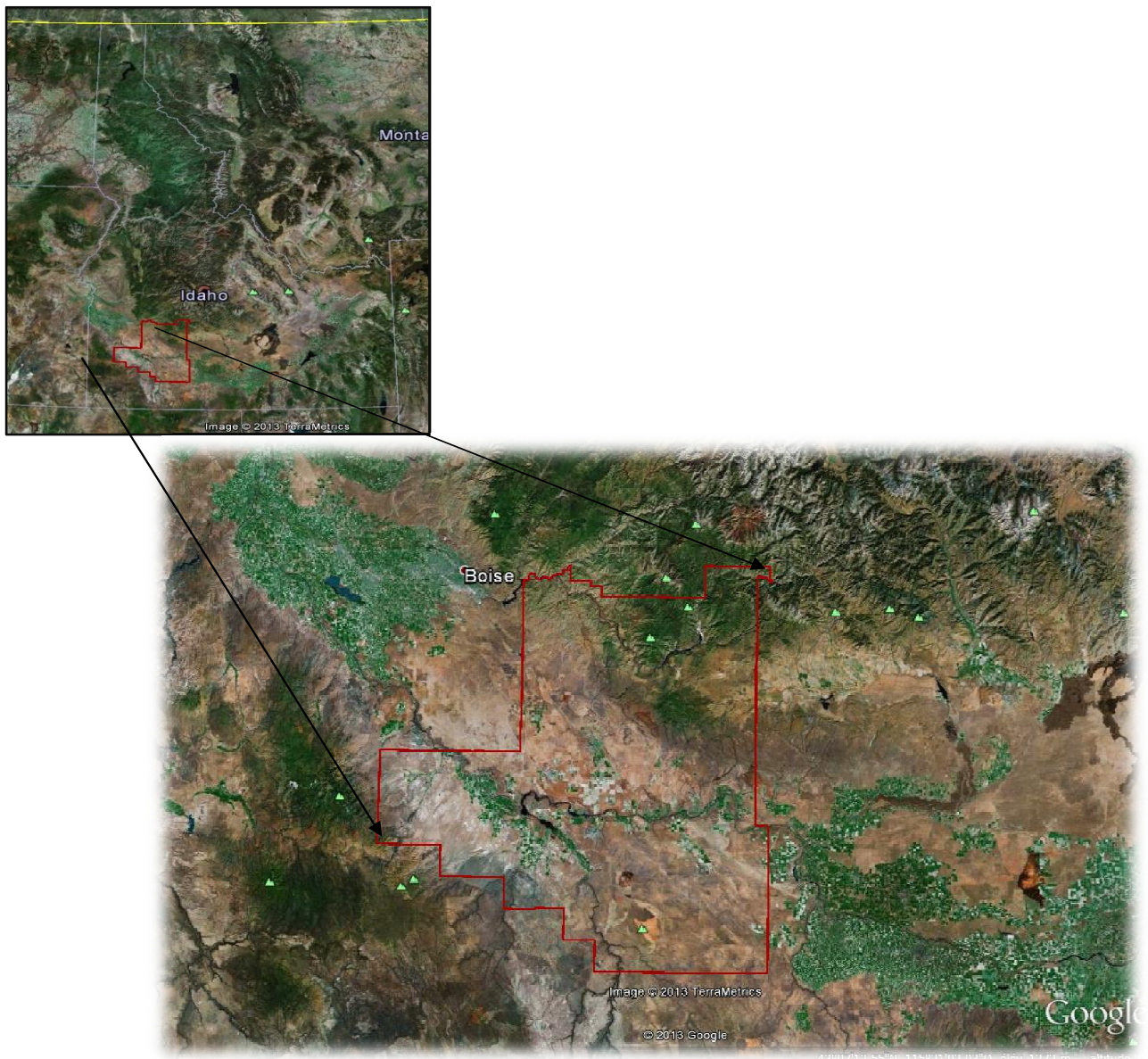


Figure 7: Image de la région sous Google earth

3. Les données utilisées :

Deux sources de données ont été utilisées pour réaliser cette application :

- Les données « Soil Survey Geographic (SSURGO) database for Elmore County Area, Idaho, Parts of Elmore and Owyhee Counties », publiées par « U.S. Department of Agriculture, Natural Resources Conservation Service » le 13/08/2012 : à partir de ces données nous avons extrait les cartes qui permettent de calculer le facteur LS ainsi que la carte du facteur K.
- Les données obtenues de l'« US EPA/ORD/NERL/ESD Landscape Ecology Branch, RUSLE », dernière mise à jour effectuée le 11/08/2011: à partir de ces données, nous avons extrait les cartes des facteurs C, P et R.

4. Le calcul des facteurs :

4.1. Facteur d'érosivité (Facteur K) :

$$K=2.1 * M^{1.14} * 10^{-6} * (12-a) + 0.0325 * (b-2) + 0.025 * (c-3).$$

- ✓ La carte de pourcentage de limon.
- ✓ La carte de pourcentage sable très fin.
- ✓ La carte de pourcentage d'argile.
- ✓ La carte de pourcentage de matières organiques.
- ✓ Le code de structure des sols.
- ✓ Classe de perméabilité des profils.

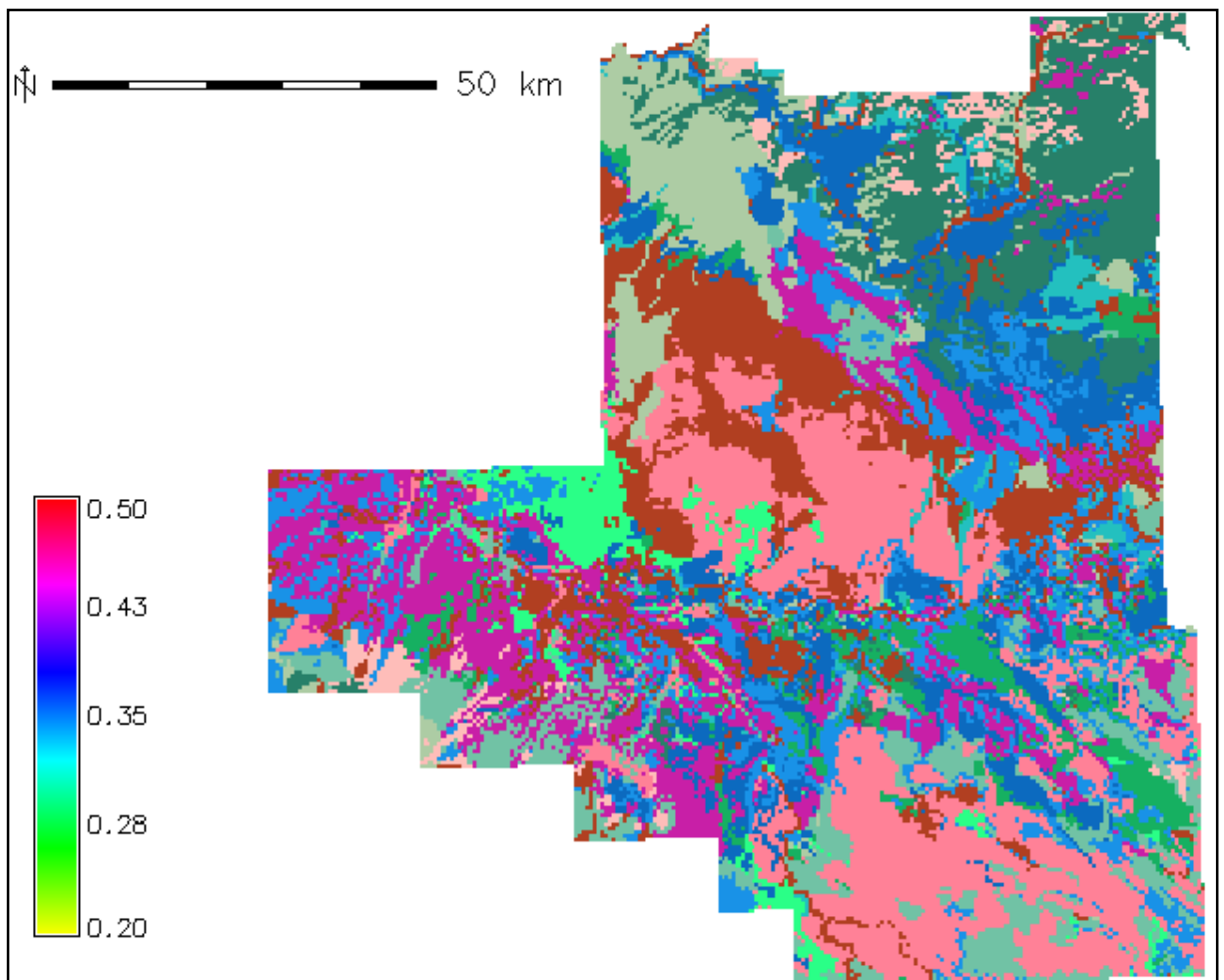





Figure 8: La carte du facteur K


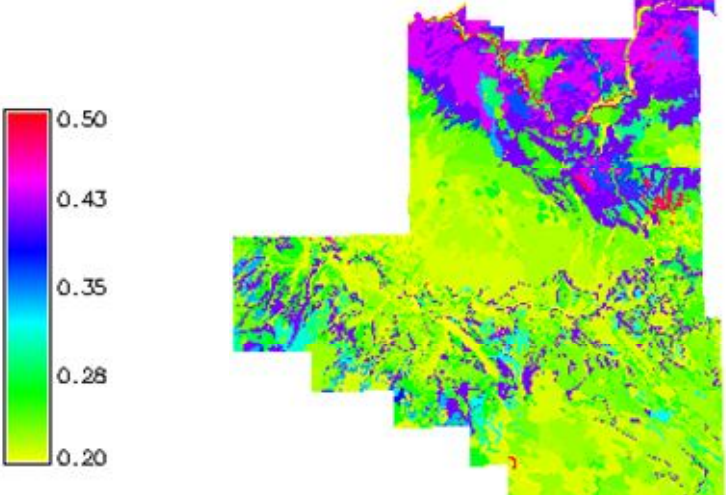
4.2. Facteur de déclivité (Facteur LS) :

$$\text{FactLS} = (0.065 + 0.0456 *(\text{laPente}) + 0.006541*(\text{pow}(\text{ laPente},2))) *(\text{pow}(\text{ penteLG} /72.5 , \text{NN})).$$

- La carte de la longueur de Pente (penteLG)
- La carte de la Pente (laPente).
- La carte de coefficient lié au rapport entre l'érosion en rigoles (NN).

Pour réaliser la carte correspondante au facteur LS, on suit les étapes suivantes :

- ✓ On ajoute  la carte de NN (la carte de coefficient).
- ✓ On définit la région calculée à partir des cartes sélectionnées (NN).
- ✓ On ajoute  la carte de laPente (la carte de Pente).
- ✓ On définit la région calculées a partir des carte sélectionnée (ignorer les nulles) (laPente).
- ✓ On ajoute  la carte de penteLG (La longueur des pentes).
- ✓ On définit la région calculée à partir des cartes sélectionnées (penteLG).

La carte qui utilisé pour calculer LS	L'affichage de la carte, échelle =  100 km
La carte de la Pente	

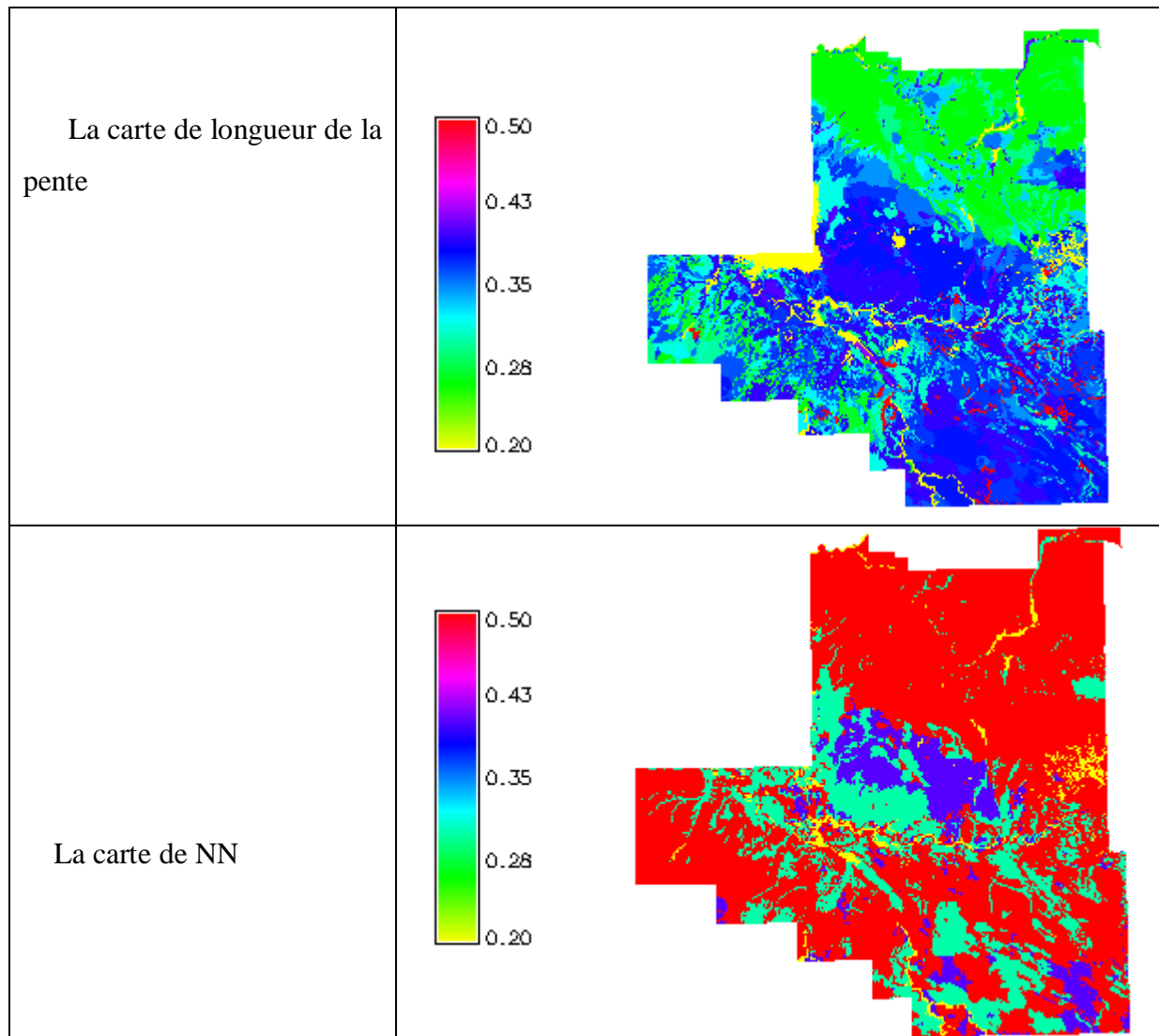


Tableau 3: Les cartes utilisées pour calculer le facteur LS

En suite :

- ✓ On utilise r.mapcalc pour calculer le facteur LS.
- ✓ La carte est affichée directement après l'exécution de r.mapcalc.

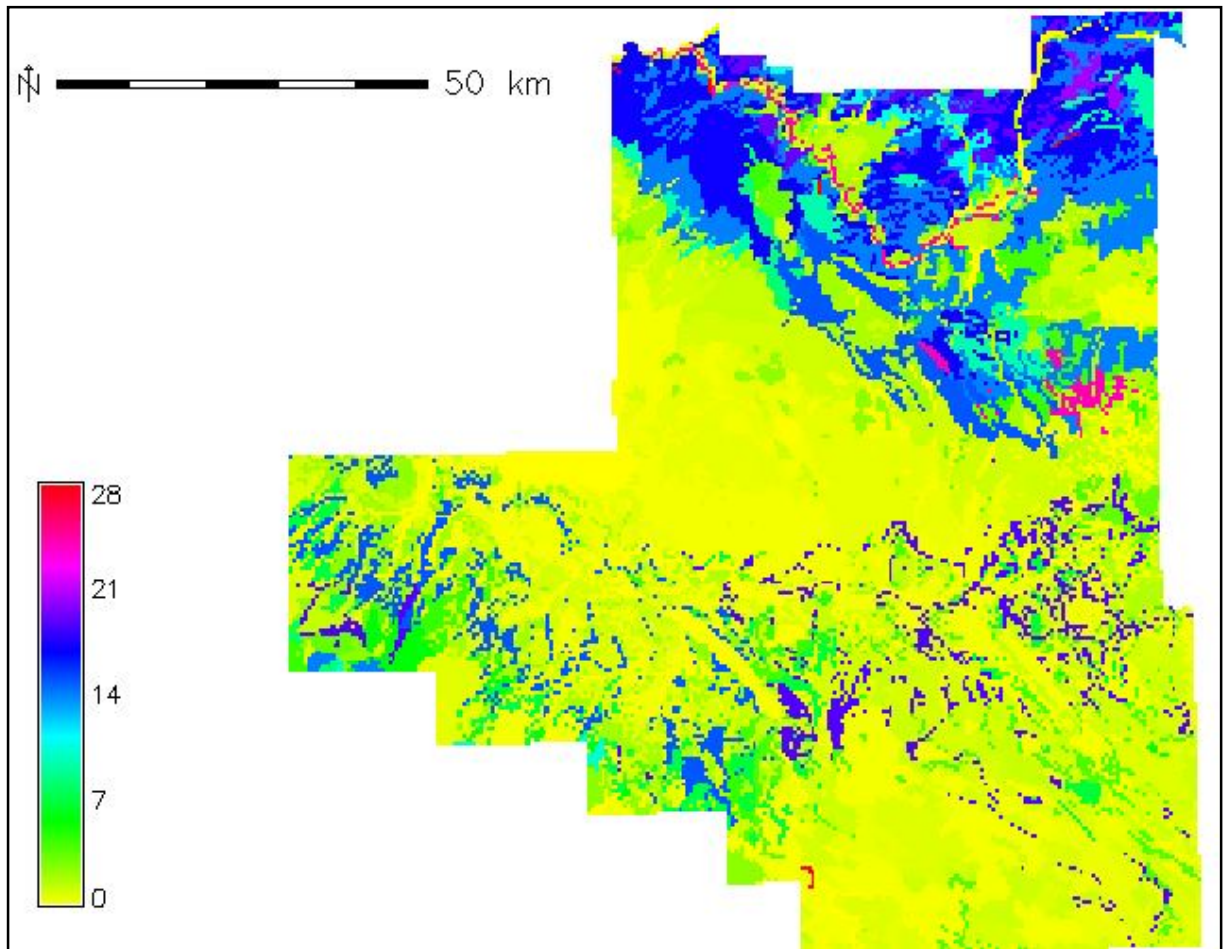


Figure 9: La carte du facteur LS

L'exécution de calculateur raster a permis de créer une nouvelle carte qui n'existait pas auparavant, il s'agit de la carte qui correspond au facteur LS.

De la même manière, la carte de l'érosion potentielle sera créée, en combinant toutes les cartes correspondantes à l'ensemble des facteurs et en utilisant le calculateur raster.

4.3. Les facteurs R, C, P :

Les données ont été sous format ArcGIS, elles ont été converti en raster et importées sous Grass GIS. Donc trois cartes ont été réalisées :

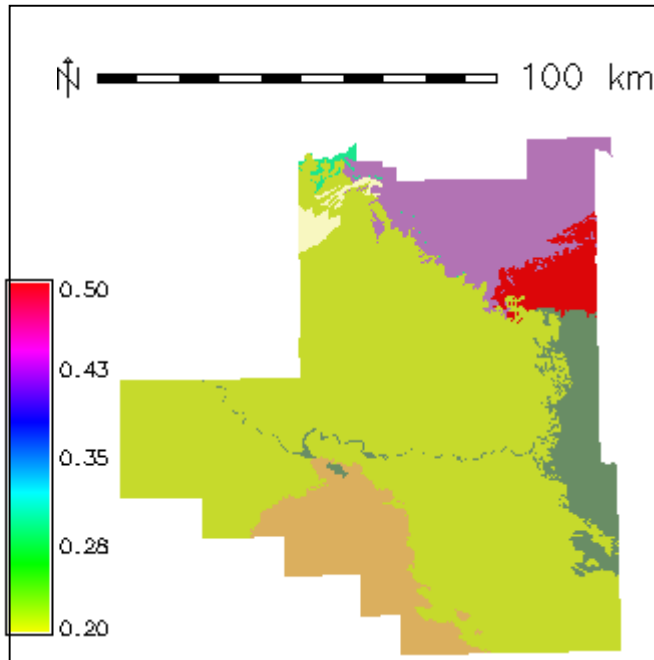


Figure 10: Le facteur R

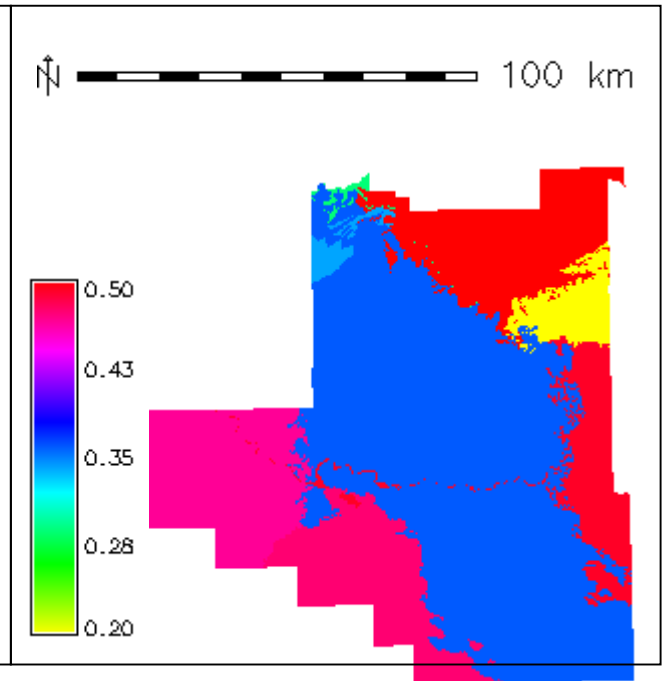


Figure 11: Le facteur C

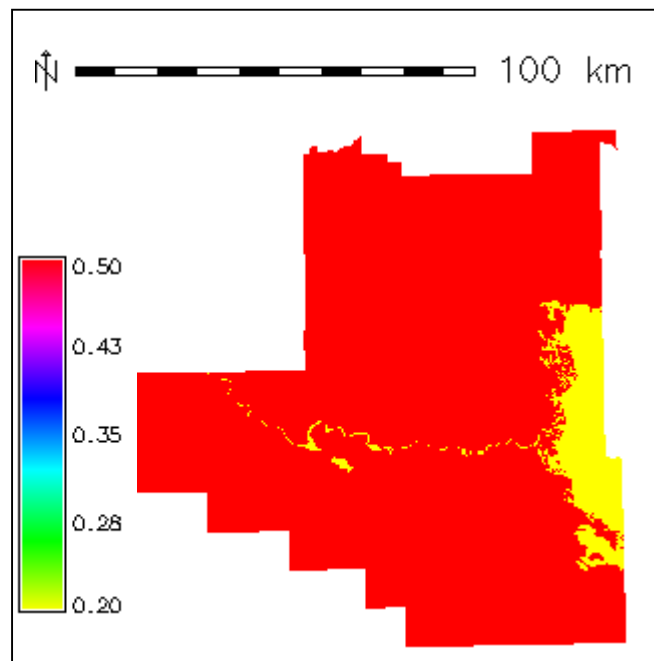


Figure 12: Le facteur P

5. Calcul de l'érosion potentielle :

$$\mathbf{Erosion} = \text{factR@PERMANENT} * \text{factK@PERMANENT} * \text{FactLS@PERMANENT} * \text{factC@PERMANENT} * \text{factP@PERMANENT}.$$

Les cartes présentées précédemment seront utilisées pour estimer la perte en sol potentielle, il s'agit de :

- ✓ La carte climatique (facteur R).
- ✓ La carte d'érosivité (facteur K).
- ✓ La carte topographie (facteur LS).
- ✓ La carte d'occupation de sol (facteur C).
- ✓ La carte de pratique de soutien (facteur P).

Donc pour calculer l'érosion, on suit les étapes suivantes :

- On ajoute tout les cartes de facteur (R, K, LS, C, P)
- On définit pour chaque carte la région calculée à partir des cartes sélectionnées.
- On utilise r.mapcalc pour calculer Erosion.
- On nommée la carte de l'érosion par **Erosion**.

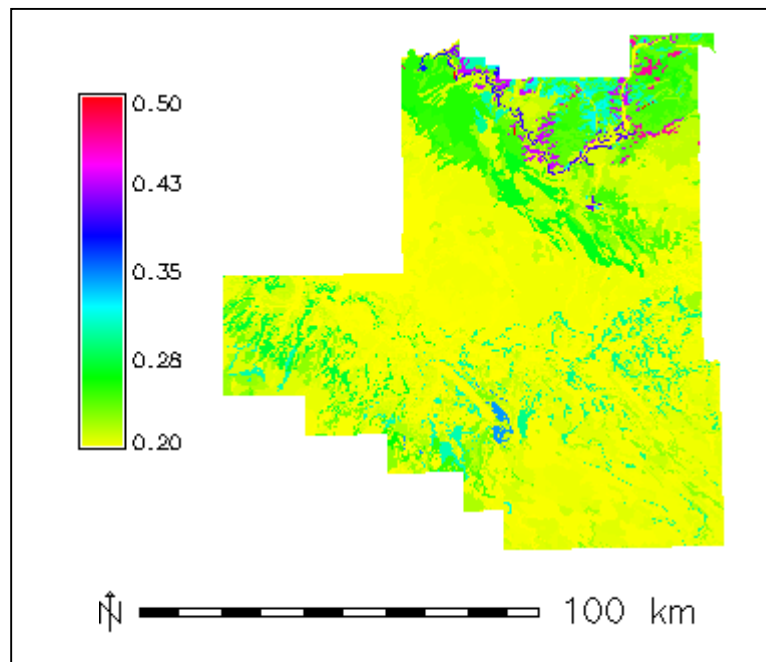


Figure 13: Carte des pertes en sol

5.1. L'affichage de la carte de Erosion_classe :

- ✓ On utilise r.reclass.
- ✓ On nomme la nouvelle carte par Erosion_classe.

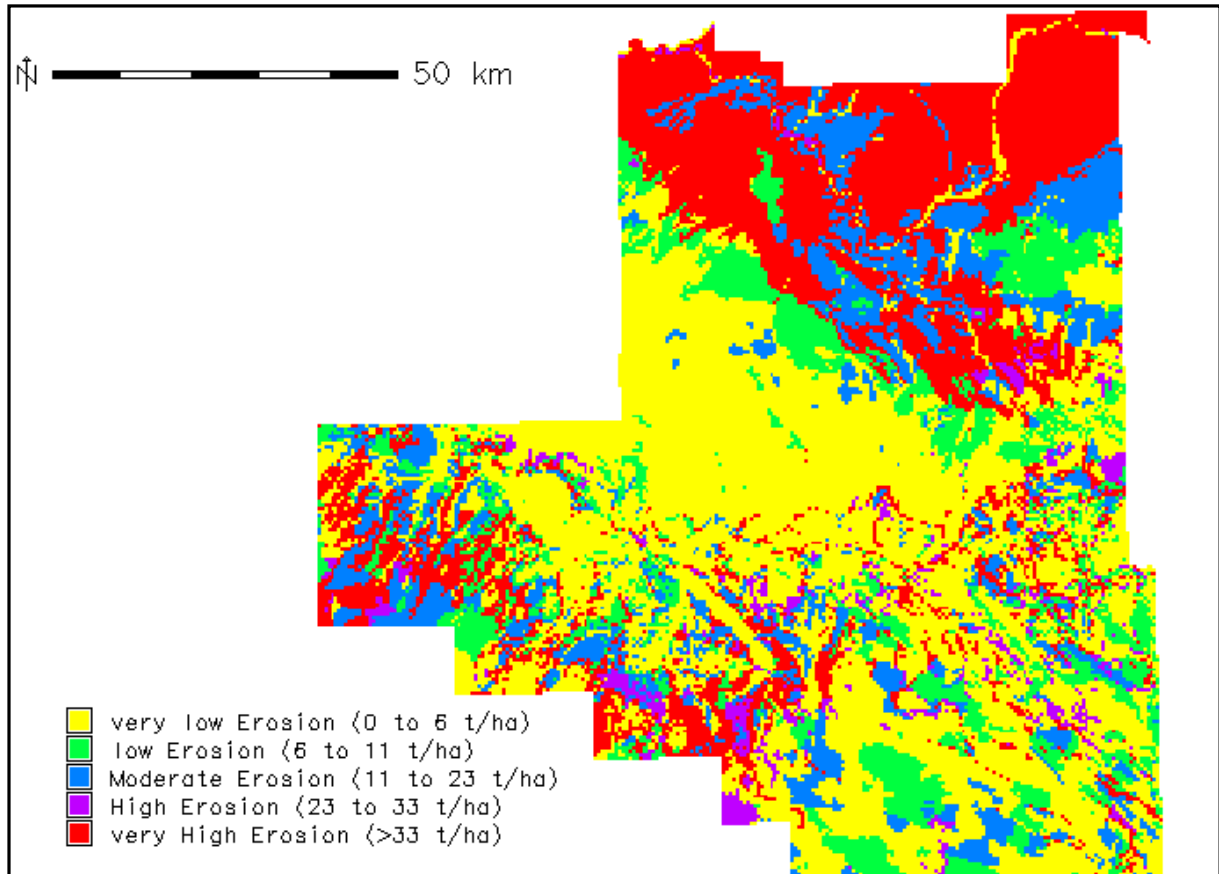


Figure 14: Carte de l'érosion potentielle du sol

6. Le modeleur graphique :


6.1. Le modèle de facteur LS :

6.1.1. Déclaration des variables :



Figure 15: Les variables du modèle LS

6.1.2. Les étapes pour calcul de facteur LS :

➤ Dans le bouton ajouter un nouveau module ()

On ajoute r.mapcalculator.

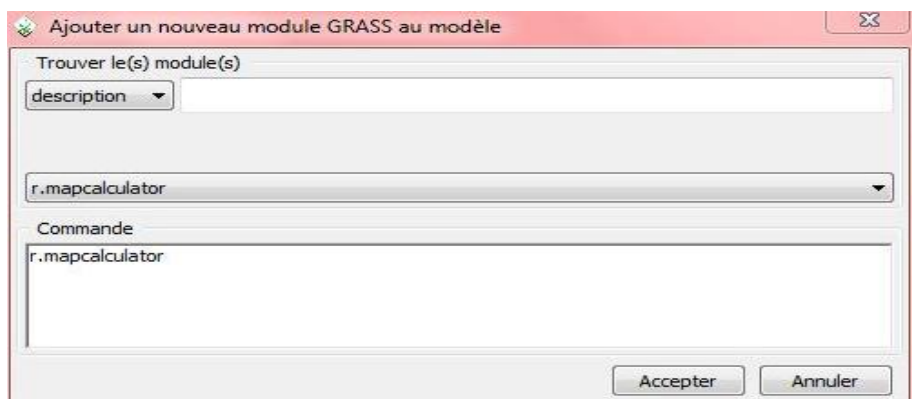




Figure 16: L'ajout d'un module dans un modèle

- Dans r.mapcalculator () :

On entre l'équation de calcul de facteur LS et le nom de la carte


$$\text{FactLS1} = (0.065 + 0.0456 * \% \text{Pente} + 0.006541 * (\text{pow}(\% \text{Pente}, 2))) * (\text{pow}(\% \text{LongP} / 72.5, \% \text{CNN})) + 0 * \% \text{LongP}$$

- On valide le modèle dans (validate model ).
- Dans le bouton ajouter un nouveau module ()

On ajoute d.rast.

- Dans d.rast :

On entre le nom de la carte qui doit être affichée (FactLS1).

- On valide le modèle dans (validate model ).
- On exécute le modèle  (il demande les cartes) :

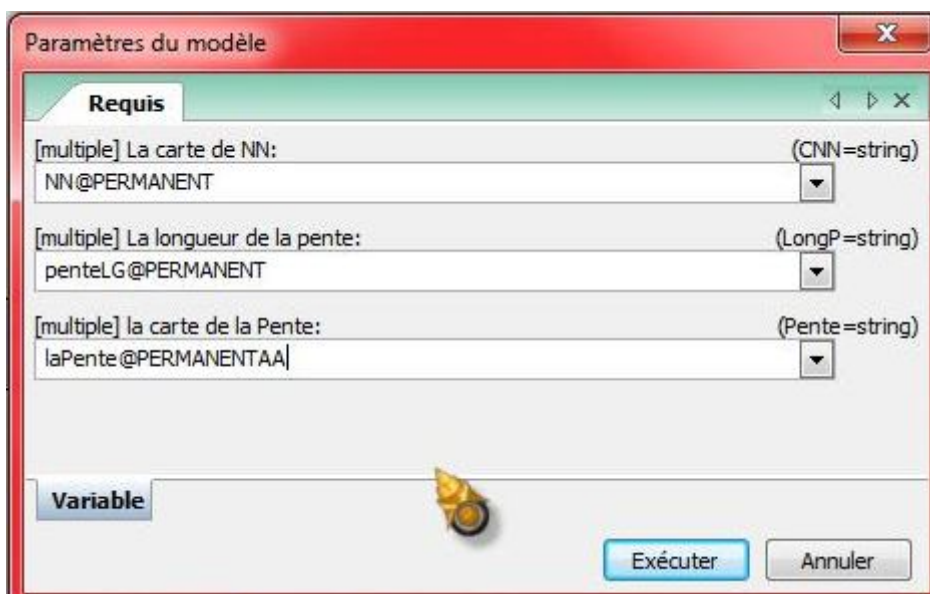


Figure 17: L'exécution du modèle LS

Puis on clique sur exécuter.

6.1.3. Image de modèle :

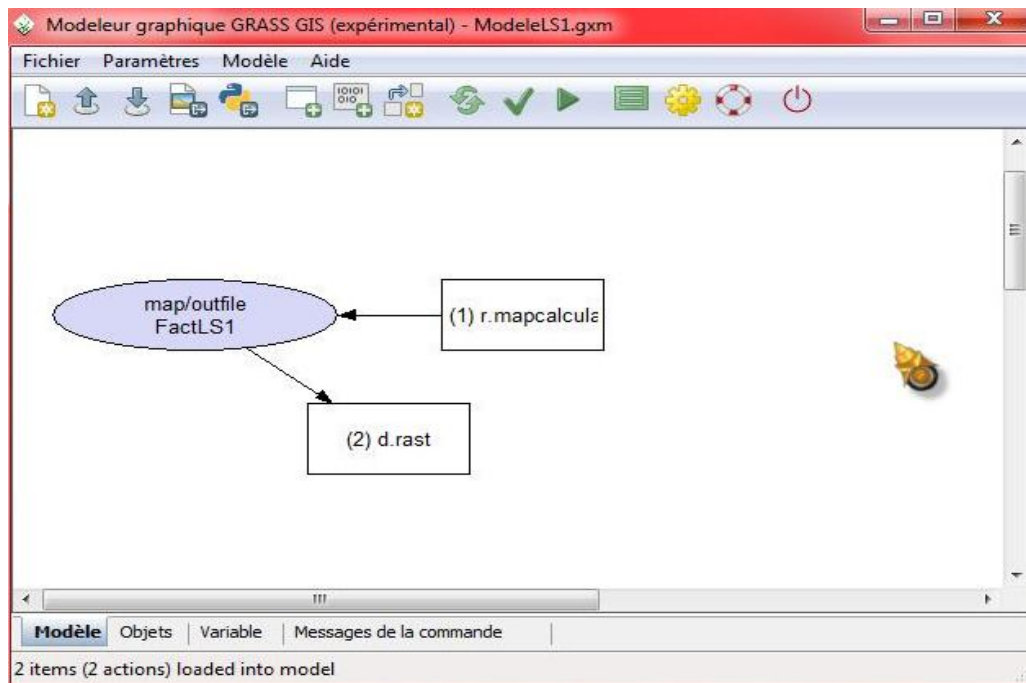


Figure 18: L'image correspondante au modèle LS

6.2. Le modèle de l'érosion :

6.2.1. Déclaration des variables :

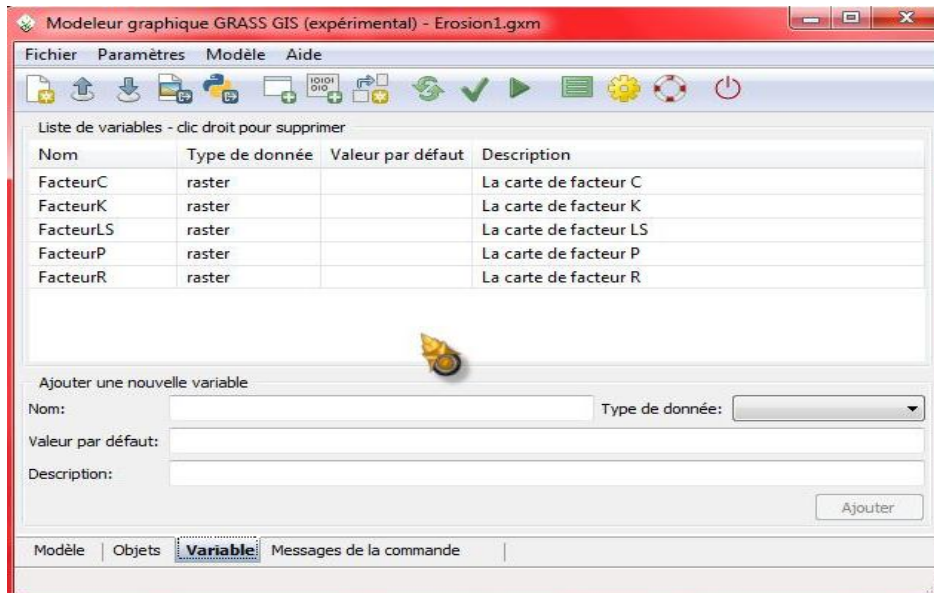



Figure 19: Les variables du modèle de l'érosion

6.3. Les étapes pour calcul de l'érosion :



- Dans le bouton ajouter un nouveau module ()

On ajoute r.mapcalculator.

- Dans r.mapcalculator () :

On entre l'équation de calcul de l'érosion et le nom de la carte(Erosion1)

$$\text{Erosion1} = \% \text{FacteurR} * \% \text{FacteurK} * \% \text{FacteurLS} * \% \text{FacteurC} * \% \text{FacteurP}$$



- On valide le modèle dans (validate model ).
- On appui sur le bouton ajouter un nouveau module .
- On ajoute r.raclass
- Dans r.reclass

On entre le nom de la carte qui doit être reclassée (Erosion1) et on entre le nom de la nouvelle carte(Erosion1_classe).

On reclasse la carte par 5 classe suivant le tableau suivant :

Classe	Érosion des sols	Perte en sol possible (tonnes/hectare/année)
1	Très faible	<6
2	Faible	6-11
3	Modérée	11-22
4	élevée	22-33
5	Grave	>33



Tableau 4 : Les cinq classes de l'érosion[wischemeier et Smith,1978]

- On valide le modèle dans (validate model )
- Dans le bouton ajouter un nouveau module ()

On ajoute d.rast.

- Dans d.rast :

Entrer le nom de la carte qui doit être affichée(Erosion1_classe).

- On valide le modèle dans (validate model )
- On exécute le modèle  (il demande les cartes)

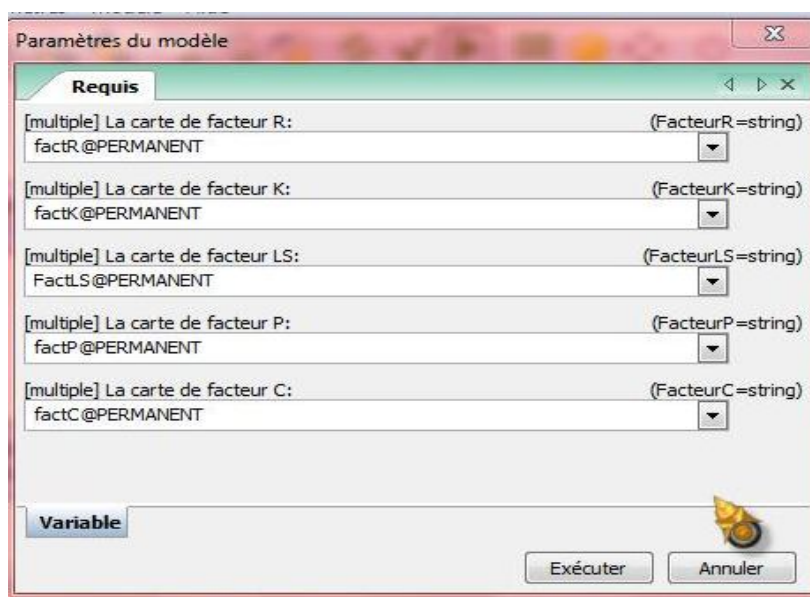


Figure 20: Exécution du modèle de l'érosion

6.3.1. Image de modèle de l'érosion :

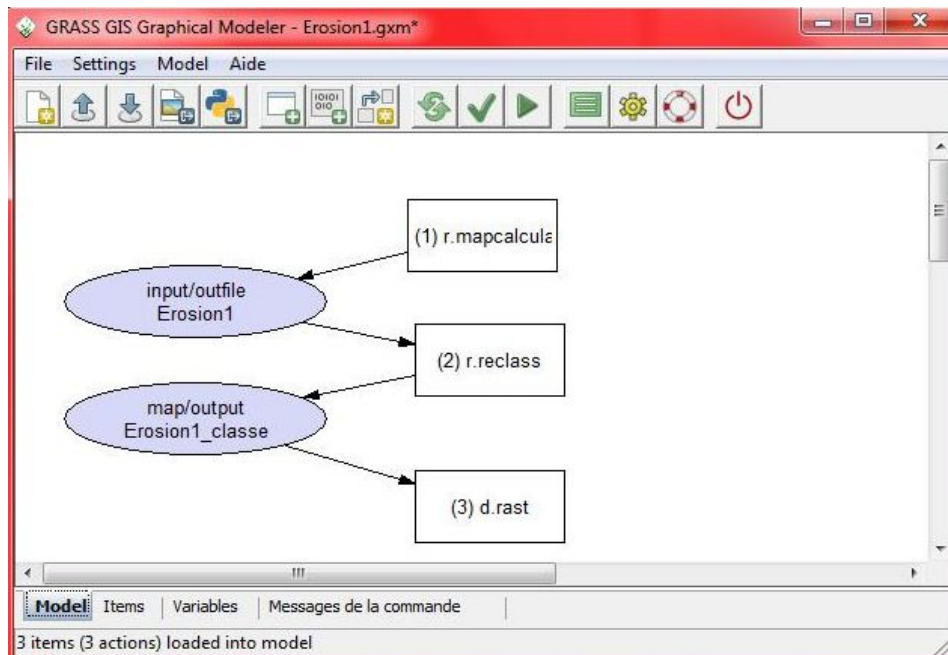


Figure 21: Image du modèle de l'érosion réalisé

7. Les avantages et les inconvénients :

7.1. Les avantages :

- Il supporte un grand nombre de format de fichier.
- C'est un logiciel très puissant qui offre un grand nombre de fonctionnalités SIG, notamment la saisie de données graphiques [BRUNET Magalie Et Al, sd].
- Il facilite la conversion d'un format de données spatiales à un autre.
- Grass est un plus puissants SIG gratuits, l'accès à son code source permet de modifier ou d'ajouter facilement d'autres modules.
- Les commandes permettent de faciliter l'automatisation des différentes procédures disponibles.
- Possibilité de programmer des tâches complexes [Thomas Milon, 2011].
- Rusle est facilement appliquée sous GRASS.

7.2. Les inconvénients :

- Il est lourd à utiliser et n'est pas du tout intuitif [BRUNET Magalie Et Al, sd].
- Parfois on peut rencontrer des bugs dans certaines versions, mais qui sont dans la plupart du temps corrigés.
- Son interface est conçue de telle manière qu'elle facilite son utilisation plutôt pour des scientifiques que pour d'autres utilisateurs.
- Concernant la modélisation RUSLE, c'est un modèle multiplicatif, donc toute erreur dans l'estimation des paramètres est amplifiée dans les prédictions.
- Disponibilité des données pour le calcul de chaque facteur.

8. Conclusion :

Nous venons de voir une des approches possibles qui permettent de réaliser une modélisation de l'érosion potentielle. GRASS GIS possède un ensemble important de fonctions et d'outils très efficaces. Il permet, non seulement de faciliter la réalisation de la carte de l'érosion et le calcul des différents facteurs. Mais, il permet aussi de palier au problème de manque de données en offrant un ensemble de procédures simples à suivre, et qui permettent de réaliser une suite de calculs pour remplacer les données manquantes.

Conclusion

Plusieurs études ont été réalisées avec GRASS GIS pour modéliser, entre autres, l'érosion potentielle des sols. Et il a été prouvé que, non seulement il était efficace, mais qu'il offrait des résultats similaires à ceux obtenus par les SIG commerciaux. Il peut gérer formats des données, qu'ils soient de types raster ou vecteur. Importer des données d'autres SIG comme Arc/Info par exemple. Réaliser un ensemble de calculs considérable et varié sur les données rasters. Même si nous n'en avons pas beaucoup parlé, il offre aussi la possibilité de gérer et de manipuler des données vecteurs ainsi que de gérer efficacement la topologie des données spatiales.

Son aspect libre et open source, permet aux programmeurs de créer leurs propres modules, puisqu'il donne accès complet à son code source et à une bibliothèque documentée décrivant sa structure interne.

Ce qu'on pourrait lui reprocher, c'est son interface qui n'est pas intuitive. Du coup, l'utilisateur a besoin d'un certain temps pour se familiariser avec ce SIG. Il y a aussi la problématique des bugs qui peuvent survenir sur les versions dédiées aux plateformes Windows et qui seront difficile à corriger, contrairement aux versions Linux, et que parfois une réinstallation d'une nouvelle version corrigée est nécessaire.

Il serait intéressant par la suite, d'estimer l'érosion soit en changeant la méthode d'estimation, soit en changeant de SIG et de déduire par la suite le couple « SIG/Méthode » le plus efficace.

Références bibliographiques

- [Baigorria and Romero, 2007]:** Baigorria, G. A. and Romero, C. C. (2007). Assessment of erosion hotspots in a watershed: Integrating the WEPP model and GIS in a case study in the Peruvian Andes. *Environnemental Modeling & Software*, vol. 22, p. 1175-1183. Paul
- [Bhuyan et al.2002]:** Bhuyan, S. J., Kalita, P.K., Janssen, K. A. and Barnes, P. L. (2002). Soil loss predictions with three erosion simulation models. *Environnemental Modelling & Software*, vol. 17, p. 137-146.
- [Bissonnais et al ; 2002] :** Le Bissonnais, Y., Thorette, J., Bardet, C. et Daroussin, J. (2002). L'érosion hydrique des sols en France. Orléans, INRA & IFEN, 105 p. Paul
- [Coote et A.N.Hayhoe, 1997] :** Coote, D.R., C.A. Malcolm-McGovern, G.J. Wall, W.T. Dickinson and R.P. Rudra. 1988. Seasonal variation of erodibility indices based on shear strength and aggregate stability in some Ontario soils. *Canadian Journal of Soil Science/Revue canadienne de la science du sol* 68:405-416.
- [Dumlich et al, 2006]:** Deumlich, D., Funk, R., Kiesel, J., Thiere, 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.
- [Hudson, 1973] :** Hudson, N.W., 1973, *Soil conservation*, Batsford, London, 320 p.
- [Markus Neteler and Helena milasova, 2005]:** 2005: OPEN SOURCE GIS: A GRASS GIS APPROACH Second Edition.pdf
- [Nearing et al. 1989] :** Nearing, M. A., Foster, G. R., Lane, L. J. and Finkner, S. C. (1989). A process-based soil erosion model for USDA-Water Erosion Prediction Project technology. *Transactions of the ASAE*, vol. 32, p. 1587-1593.
- [Onstad et Foster, 1975]:** Onstad, C.A. y Foster, G.R : 1975 : Erosion modelling on a watershed.
- [Renard et al, 1994]:** Renard, K.G. et J.R. Freimund, 1994, « Using monthly precipitation data to estimate the R factor in the revised USLE », *Journal of Hydrology*, n° .157, pp. 287-306.
- [Roose et al, 1994] :** Roose, E., 1994, « Introduction à la gestion conservatoire de l'eau, de la biomasse et de la fertilité des sols », *Bulletin pédologique de la FAO*, 70 p.
- [Roose et Sarrailh, 1990] :** Roose, E. et J.M. Sarrailh, 1990, « Erodibilité de quelques sols

tropicaux, vingt années de mesure en parcelles d'érosion sous pluies naturelles », *Cahiers de l'ORSTOM*, Série Pédologique, vol. 25, n° .12, 24 p.

[SERVICE DE LA PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT, 2008] :

[Shelton, 1985]: Shelton, I.J., G.J. Wall and W.T. Dickinson. 1985. Soil erosion prediction in Ontario. incl. in Soil Conservation manual, Ontario Institute of Pedology (non publié, manuel de formation).

[Stone et D.Hillborn, 2000] : R.P. Stone et D. Hilborn:2000 : Équation universelle des pertes en terre(Usle) .

[Tara Athan et al, 2010] : Tara Athan, Otto Dassau, Carson J.Q. Farmer. 2010.Quantum GIS

[Van Vliet et al ; 1976] : van Vliet, L.J.P., G.J. Wall and W.T. Dickinson. 1976. Effects of agricultural land use on potential sheet erosion losses in Southern Ontario. *Canadian Journal of Soil Science/Revue canadienne de la science du sol*, 56:443-451.

[Wahlstrom et al, 1999] : Wahlstrom, E., Loague, K. and Kyriakidis, P. (1999). Insular Scale Hydrologic Response : Kaho'olawe, Hawaii. Hydrologic response : Kaho'olawe, Hawaii. *Journal of Environmental Quality*, vol, 28, p. 481-492.

[Wal et al, 1988] : Wall, G.J., W.T. Dickinson, R.P. Rudra and D.R. Coote. 1988. Seasonal soil erodibility variation in southwestern Ontario. *Canadian Journal of Soil Science/Revue canadienne de la science du sol* 68:417-424.

[Wischmeier et Smith, 1978] : Wischmeier, W.H., et D.D. Smith, 1978, « Predicting Rainfall Erosion Losses - À Guide to Conservation Planning ». *Agriculture Handbook*, n° .537, Department of Agriculture Science and Education Administration, Washington, District of Columbia USA. U.S.

[Yassin M. et al]: S. El Bahi, K Renard Et M. El Wartiti : Application du model de perte en terre revise 'RUSLE' aux terrains forestiers du plateau central du maroc

[Yue-Qing et AL, 2009]: 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.

[Zingg, 1940] : Zingg, A.W., 1940, « Degree and Length of Land Slope as it Affects Soil Loss in Runoff », *Agricultural Engineer.*, n° .21, 59-64.