



**BELLON Loïc**

Rapport de stage IRD Unité ESPACE 140

**DÉVELOPPEMENT SOUS LOGICIEL LIBRE (R)  
D'OUTILS GÉNÉRIQUE D'ESTIMATION ET  
SPATIALISATION DE L'ÉROSION HYDRIQUE DES SOLS**

**Novembre 2009**





# SOMMAIRE

<b>SOMMAIRE</b> .....	<b>3</b>
<b>I. LE LOGICIEL R</b> .....	<b>4</b>
<b>II. OUTIL GÉNÉRIQUE DE MISE EN ŒUVRE DU MODÈLE USLE (UNIVERSAL SOIL LOSS EQUATION)</b> .....	<b>4</b>
II.1 LE MODÈLE USLE.....	4
II.2 FACTEUR ÉROSIVITÉ DES PRÉCIPITATIONS (R).....	5
II.3 FACTEUR TOPOGRAPHIQUE (LS).....	11
II.4 FACTEUR ÉRODIBILITÉ DES SOLS (K).....	13
II.5 FACTEUR COUVERTURE VÉGÉTALE ET PRATIQUES CULTURALES (C)....	18
<b>III. DÉTERMINATION DES ZONES D'ÉROSION CONTRIBUANT AU RÉSEAU HYDROGRAPHIQUE</b> .....	<b>21</b>
III.1 CALCULS PRÉLIMINAIRES.....	21
III.2 CALCUL DU RASTER DELIVERY.....	22
<b>CONCLUSION</b> .....	<b>24</b>
<b>BIBLIOGRAPHIE</b> .....	<b>25</b>
<b>WEBOGRAPHIE</b> .....	<b>25</b>
<b>ANNEXE : PROGRAMME DE CONVERSION D'UN RASTER DE TYPE SPATIALPIXELDATAFRAME EN UN RASTER DE TYPE ASCII</b> .....	<b>26</b>

## I. LE LOGICIEL R

Le projet *R* consiste en une implémentation libre du langage de programmation appelé *S* (Lobry, 2006). Il a été développé depuis les années soixante-dix dans les laboratoires Bell par John Chambers et son équipe et distribué depuis 1993 sous licence commerciale exclusive par Insightful Corp. Initié dans les années quatre-vingt dix par Robert Gentleman et Ross Ihaka (Université d'Auckland, Nouvelle-Zélande), auxquels sont venus s'ajouter un noyau de chercheurs du monde entier en 1997, il constitue aujourd'hui un langage et un environnement de programmation intégré d'analyse statistique.

L'objectif de ce projet est de fournir un environnement interactif d'analyse de données, doté d'outils graphiques performants et permettant une adaptation aisée aux besoins des utilisateurs, depuis l'exécution de tâches routinières jusqu'au développement d'applications entières.

*R* est un logiciel libre et gratuit qui fonctionne sur une large variété de plates-formes UNIX, Windows et MacOS (<http://www.r-project.org/>).

## II. OUTIL GÉNÉRIQUE DE MISE EN ŒUVRE DU MODÈLE USLE (UNIVERSAL SOIL LOSS EQUATION)

Cet outil a été développé afin de permettre l'application du modèle USLE (PRINTEMPS Julia - Estimation et spatialisation de l'érosion hydrique des sols en Nouvelle-Calédonie *UTILISATION DE L'ÉQUATION UNIVERSELLE DE PERTE DE SOL ASSISTÉE D'UN SIG SUR LES COMMUNES DE VOH, KONÉ ET POUEMBOUT*) sur toute zone géographique en s'affranchissant des logiciels de SIG courants et donc de toute licence payante. Son application nécessite néanmoins l'acquisition des données en entrée sous différents formats que nous détaillerons par la suite. Le modèle USLE utilisé pour la spatialisation et la quantification de l'érosion hydrique a été codé sous *R*.

### II.1 LE MODÈLE USLE

L'érosion du sol est définie comme la quantité de sol érodé pour une superficie et une durée donnée. L'USLE est un modèle de type empirique basé sur des observations et des statistiques. Les paramètres du modèle doivent donc être calibrés selon les conditions (climat, etc.) du territoire où il est appliqué.

L'USLE est composé de six facteurs indépendants qui permettent d'estimer l'érosion (*A*) en tonnes/hectare.an en multipliant chacun des facteurs :

$$A = R.K.LS.C.P \quad (1)$$

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

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

L est la longueur de pente (m),

S est l'inclinaison de pente (%),

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

P est le facteur adimensionnel relié aux pratiques de conservation des sols (non développé ici).

## II.2 FACTEUR ÉROSIVITÉ DES PRÉCIPITATIONS (R)

Après avoir analysé les données collectées sur des stations expérimentales, Wischmeier et Smith ont déterminé que, parmi les différentes caractéristiques physiques de la pluie, l'intensité était celle qui accusait la plus forte corrélation à la quantité de sol érodé. Ils ont donc établi la relation suivante :

$$R = E \times I30 \text{ (2)}$$

où :

R est l'érosivité de la pluie pour un épisode pluvieux en MJ.mm/ha.h,

E est l'énergie cinétique de la pluie en MJ/ha,

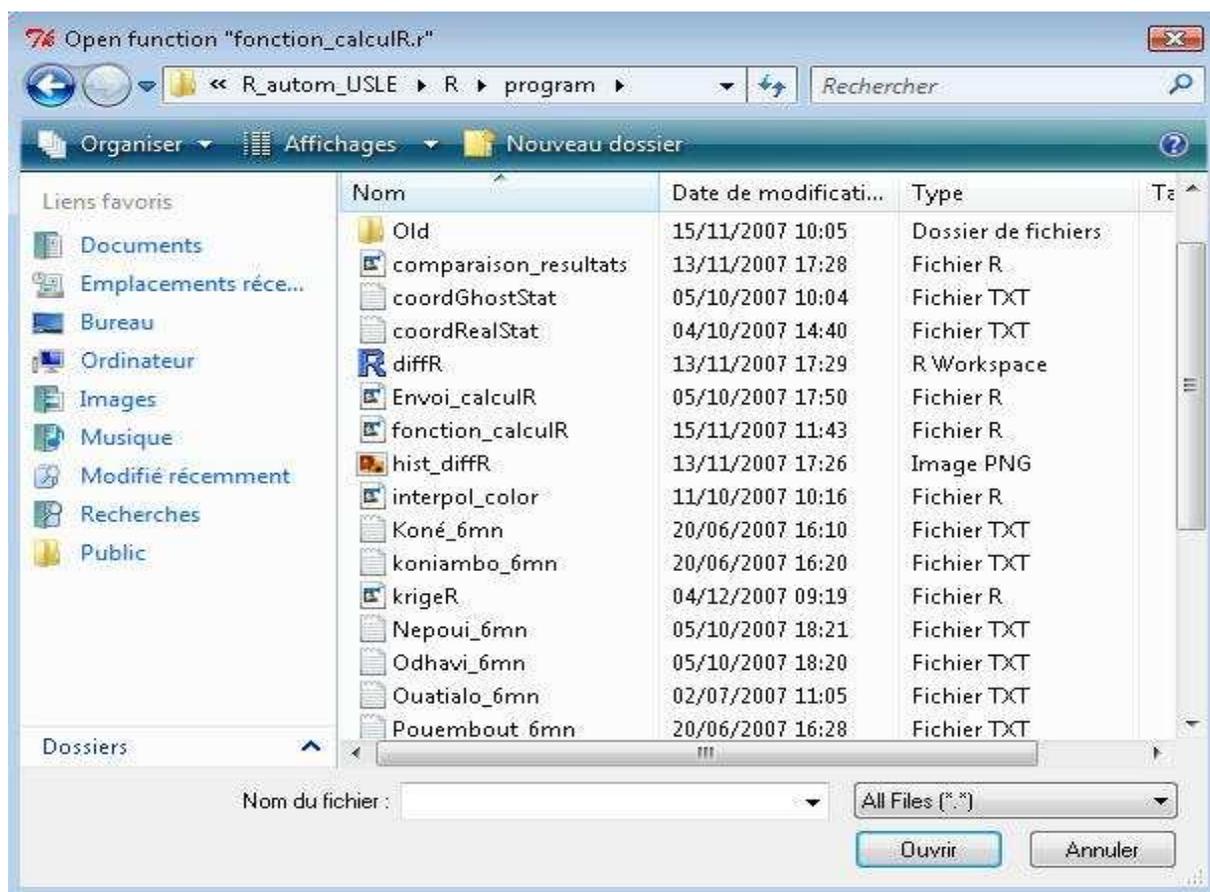
I30 est son intensité maximale en 30 minutes en mm/h.

Pour calculer E et I30, les épisodes pluvieux de moins de 12,7 mm en six heures ont été omis car ils ne sont pas considérés comme agressifs du point de vue de l'érosion des sols. Un épisode pluvieux est donc une période de pluie dont la somme des précipitations est supérieure à 12,7 mm et qui est encadrée par deux périodes non pluvieuses d'au moins 6 heures.

Afin de déterminer le facteur R sur toute la zone d'étude, trois programmes ont été développés :

- *fonction\_calculR.r* qui permet de calculer le facteur R au niveau des stations météorologiques à partir des fichiers de pluviométrie à 6 minutes.
- *krigeR.r* qui permet d'interpoler sur toute la zone d'étude les résultats obtenus avec *fonction\_calculR.r*.
- *Rfactor.r* qui utilise les deux programmes précédents pour élaborer la carte d'agressivité des pluies sur la zone d'étude.

Pour rendre le programme plus convivial du point de vue de l'utilisateur, une interface a été développée à l'aide du package tcltk qui permet entre autre, dans le programme *Rfactor.r*, de sourcer le code des fonctions calculR du programme *fonction\_calculR.r* et *krige.R* du programme *krigeR.r*.



Exemple de boite de dialogue tcltk pour sourcer le programme fonction\_calculR.r

Au lancement du programme *Rfactor.r* d'autres boites de dialogue apparaissent afin de charger toutes les données nécessaires à l'exécution du programme :

- Le nombre de fichiers météorologiques disponibles (il correspond au nombre de stations réelles sur la zone)
- Les différents fichiers météorologiques collectés sur les stations réelles (cf. PRINTEMPS Julia - Estimation et spatialisation de l'érosion hydrique des sols en Nouvelle-Calédonie *UTILISATION DE L'ÉQUATION UNIVERSELLE DE PERTE DE SOL ASSISTÉE D'UN SIG SUR LES COMMUNES DE VOH, KONÉ ET POUEMBOUT p32 pour le format des fichiers*)  
Ces fichiers doivent porter des noms identiques aux noms des stations dans le fichier de coordonnées des stations réelles. Ex : pour la **station KONE**, le fichier météorologique correspondant sera **KONE.txt**
- Les coordonnées des stations réelles (**en mètres**) sous la forme d'un fichier texte de ce format :

Nomstation	X	Y	Z
KONE	279300	349000	7
KONIAMBO	277800	355400	895
POUEMBOUT	285900	341700	27
VAVOUTO	262300	353700	93
TANGO	298800	356900	341
ODHAVI	275400	361900	45
NEPOUI	296400	319800	79
OUARTIALO	264500	381000	120

(les séparations sont des **tabulations** – les coordonnées sont des **entiers**)

- Les coordonnées des stations fantômes nécessaires à une bonne interpolation sur la zone. Le fichier est du même format que celui des coordonnées des stations réelles.
- Le fichier texte dans lequel vont être stockées les valeurs du facteur R obtenues pour les différentes stations (réelles ou fantômes)
- Le shapefile de **points** délimitant les frontières de la zone d'étude (dans un système métrique).
- La résolution en mètres du raster en sortie.

Une fois les données en entrée et les fonctions nécessaires au calcul du facteur R chargées, ce dernier est calculé en utilisant la fonction `calculR` du programme `fonction_calculR.r` et les données météorologiques pour chaque station réelle sur la zone d'étude.

Les résultats obtenus (en unités SI) sont ensuite extrapolés aux stations fantômes créées artificiellement en utilisant une simple régression linéaire sur l'altitude des stations :

$$R = 3,504 * Z + 3650,317 \quad (3)$$

Pour obtenir une carte complète du facteur R sur la zone d'étude, il faut alors interpoler spatialement les valeurs de R obtenues pour les stations réelles et fantômes.

Pour cela, la fonction de Krigeage `krigeR.r` a été développée. L'interpolation spatiale est un problème classique d'estimation d'une fonction  $F(\mathbf{x})$ , où  $\mathbf{x} = (x,y)$ , en un point  $\mathbf{x}_p$  du plan à partir de valeurs connues de F en un certain nombre, m, de points environnants  $\mathbf{x}_i$ :

$$F(\mathbf{x}_p) = \sum_{i=1}^m W_i \cdot F(\mathbf{x}_i) \quad (4)$$

Le problème consiste à déterminer la pondération, i.e. les  $W_i$ , de chacun des points environnants. Il existe plusieurs façons de choisir ces poids. Les deux méthodes les plus

connues sont l'interpolation linéaire (en fonction de l'inverse de la distance) et la méthode des splines cubiques (ajustement de polynômes cubiques). Le Krigeage choisit plutôt les poids à partir du degré de similarité entre les valeurs de F, i.e. à partir de la covariance entre les points en fonction de la distance entre ces points.

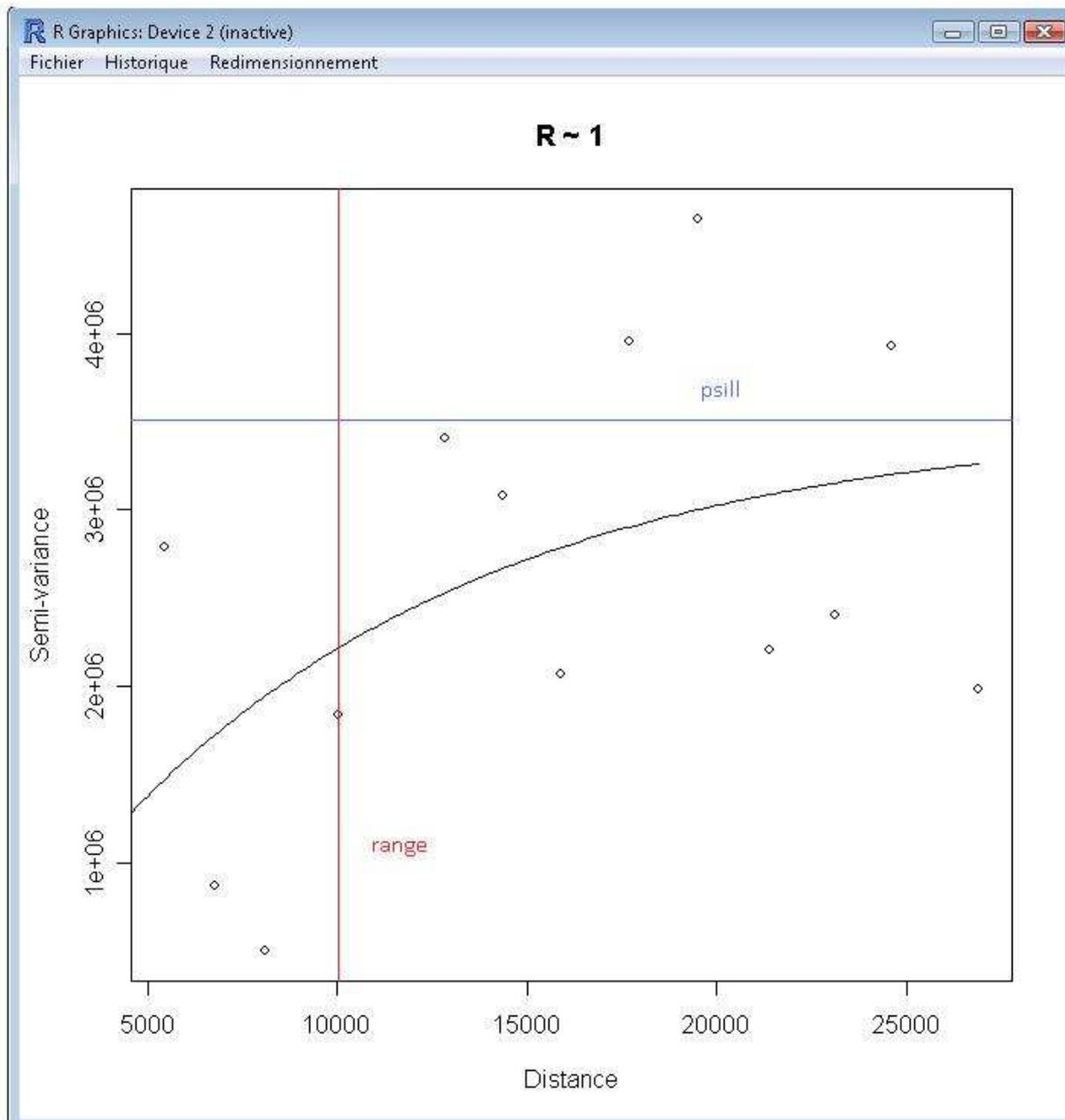
Ici, nous dirons simplement que la seule condition indispensable pour utiliser le Krigeage est que la moyenne et la variance de la fonction F soient stationnaires, c'est-à-dire qu'elles ne dépendent pas de la position des points, seulement de la distance entre les points. Le variogramme est alors simplement la variance totale moins la covariance, en fonction de la distance entre les points. Le Krigeage utilisera alors le semi-variogramme (la moitié du variogramme) pour déterminer les poids dans l'équation (4). Le semi-variogramme est calculé à l'aide de l'équation (5) pour les  $n(h)$  points  $x_i$  et  $y_i$  séparés par une distance  $h = |x_i - y_i|$  :

$$\gamma(h) = \frac{1}{2n(h)} \sum_{i=1}^{n(h)} (x_i - y_i)^2 \quad (5)$$

Lors du déroulement du programme, il vous sera demandé d'ajuster le variogramme, i.e. de trouver un modèle de variogramme qui s'ajuste au mieux au variogramme expérimental obtenu à partir des valeurs de R sur les stations réelles et fantômes et de leurs coordonnées.

Trois paramètres peuvent alors être ajustés afin d'obtenir un modèle de variogramme convenable :

- *Psill* : le seuil du modèle de variogramme
- *Model* : le type de modèle (ex : Exp, Sph, Gau, Mat)
- *Range* : la portée du modèle de variogramme (distance à laquelle la semi-variance est égale à 60% du seuil (psill))

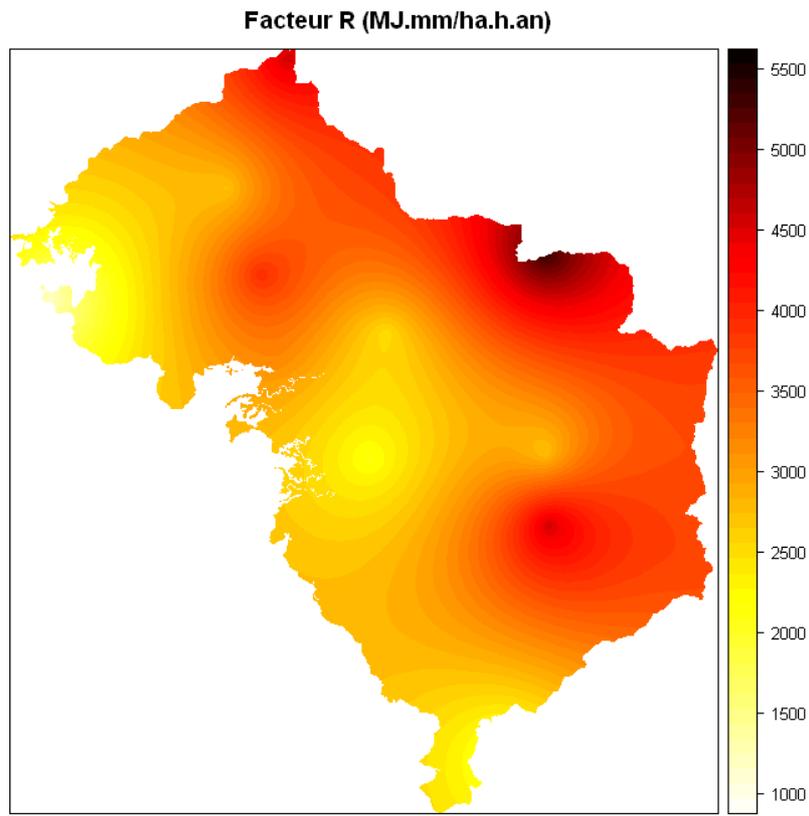


Variogramme obtenu avec  $psill = 3500000$ ,  $model = Exp$ ,  $range = 10000$

Une fois l'interpolation effectuée, un masque de la zone d'étude, correspondant au shapefile de points en entrée du programme, est appliqué au résultat du krigeage en appelant la fonction ***point.in.polygon***. On obtient alors le résultat final dans la variable R.

Ce dernier est de type SpatialPixelDataFrame. Ce type de variable contient entre autre les coordonnées de chaque pixel de la zone (commande R : ***attr(R, « coords »)***) et la valeur du facteur R pour chaque pixel de la zone (commande R : ***R\$R.pred***).

Une boîte de dialogue tcltk vous propose alors d'enregistrer le résultat avec l'extension « .RData ».



*Exemple de calcul du facteur R sur la zone Voh-Koné-Pouembout (MJ.mm/ha.h.an)*

## II.3 FACTEUR TOPOGRAPHIQUE (LS)

Même si l'influence de la longueur de la pente est reconnue, il est très difficile de connaître précisément l'exposant qui relie l'érosion et la longueur de la pente. De nombreuses formules ont été proposées, mais elles ne sont pas applicables de manière universelle. De plus, tout comme l'inclinaison de la pente, il faut prendre en compte le type d'érosion pour pouvoir déterminer quelle est l'influence de la longueur de la parcelle.

Cependant, le facteur topographique LS de Wischmeier & Smith permet de donner des résultats satisfaisants quant à l'influence de la longueur et de l'inclinaison de la pente dans le phénomène érosif. Ce facteur prend en compte deux éléments : l'inclinaison (S) et la longueur (L) de la pente. Ces deux facteurs sont le plus souvent combinés en un facteur unidimensionnel (LS).

La relation permettant de calculer le facteur LS est la suivante :

$$LS = (\lambda/22,1)^m \times (65,41\sin^2\theta + 4,56\sin\theta + 0,065) \quad (6)$$

$\lambda$  est la longueur de pente en mètres

$\theta$  est l'angle d'inclinaison en %

m est un facteur qui dépend de la pente :

m = 0,5 si la pente est  $\geq 5\%$

m = 0,4 si la pente est de 3,5 à 5%

m = 0,3 si la pente est de 1 à 3,5%

m = 0,2 si la pente est  $< 1\%$

Afin de déterminer le facteur LS sur toute la zone d'étude, 6 programmes ont été développés :

- *focalflow.r* qui permet à partir du mnt de calculer les rasters de direction des flux entrants et sortants.
- *down\_slope\_angle.r* qui permet à partir du mnt et du raster de direction des flux sortants de calculer la pente en degrés pour chaque pixel.
- *slp\_lgth\_cum.r* qui permet à partir des deux rasters de direction des flux et du mnt de calculer la pente cumulée au niveau de chaque pixel.
- *m\_slp\_exp.r* qui permet, à partir du raster des pentes, de déterminer l'exposant m précédemment défini pour chaque pixel.

- *fromcell.r* qui est appelé par la fonction *slp\_lgth\_cumul* du programme *slp\_lgth\_cum.r* pour calculer la pente cumulée dans une direction donnée.
- *LSfactor.r* qui utilise les programmes précédents pour élaborer la carte de l'impact topographique (facteur LS) sur la zone.

Une interface identique à celle développée dans le programme *Rfactor.r* à été mise en place dans le programme *LSfactor.r*. Elle permet notamment de charger le code des fonctions contenu dans les programmes *focalflow.r*, *down\_slope\_angle.r*, *slp\_lgth\_cum.r*, et *m\_slp\_exp.r*.

Au lancement du programme *LSfactor.r*, il vous sera également demandé de chargé les données d'entrée nécessaire à l'exécution du programme :

- Le MNT au format ascii :

```

ncols      1260
nrows     1447
xllcorner  248619.63049985
yllcorner  315281.32629577
cellsize   50
NODATA_value -9999
-9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -
9 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999
999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -99
-9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -
9 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999

```

*Exemple de fichier au format ascii*

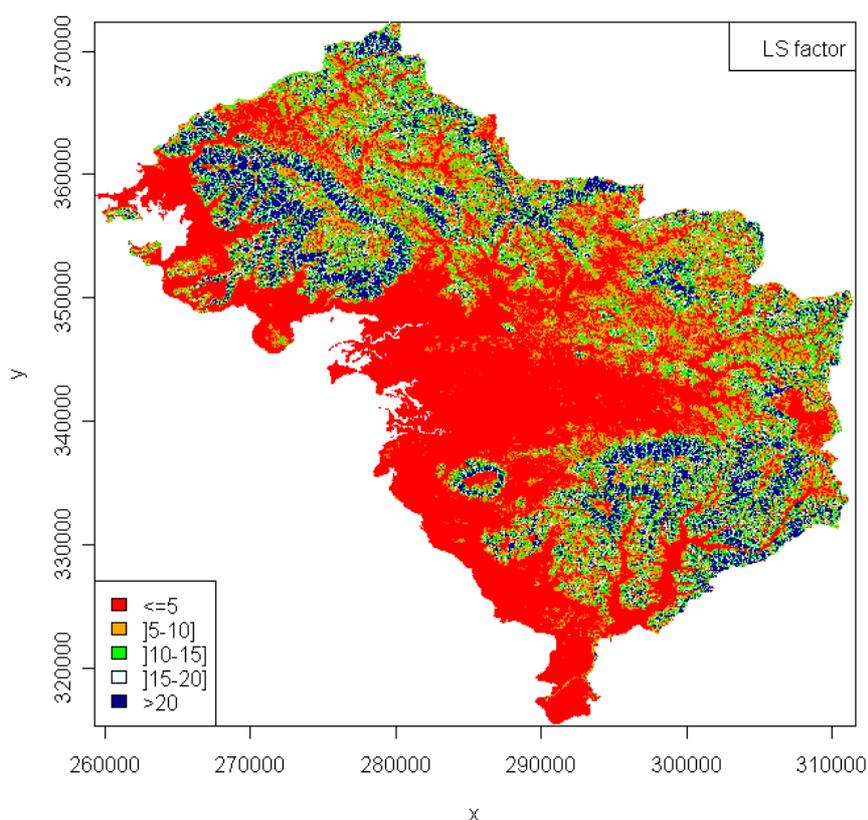
**L'entête doit être identique à celle de l'exemple pour tous les fichiers ascii utilisés par la suite.**

- Le shapefile de **points** délimitant les frontières de la zone d'étude (dans un système métrique).

Une fois les données en entrée et les fonctions nécessaires au calcul du facteur LS chargées, les rasters de direction des flux sont calculés en utilisant la fonction *focalflow\_and\_flowdirection* du programme *focalflow.r* qui retourne une liste qui a pour premier élément le raster de direction des flux entrants et comme deuxième élément le raster de direction des flux sortants. Le raster des pentes est alors calculé à l'aide de la fonction *down\_slope\_angle* du programme *down\_slope\_angle.r* à partir du MNT et du raster de direction des flux sortants. Ensuite les trois rasters précédemment calculés ainsi que le MNT sont utilisés par la fonction *slp\_lgth\_cumul* du programme *slp\_lgth\_cum.r* pour déterminé le raster des pentes cumulées. Au lancement de la fonction *slp\_lgth\_cumul*, il vous sera demandé de charger le programme *fromcell.r* nécessaire à son exécution. Le raster des pentes cumulées en mètres est alors converti en pieds pour la suite du calcul.

Pour chaque pixel l'exposant  $m$  de longueur de pente est calculé à partir du raster des pentes en degrés. Pour finir le facteur LS est calculé selon l'équation (6).

On applique alors au raster du facteur LS le masque de la zone d'étude correspondant au shapefile de points chargé en entrée du programme de la même manière que pour le facteur R (p.6). On obtient alors le résultat final dans la variable LS de type SpatialPixelDataFrame. Comme pour le facteur R, une boîte de dialogue tcltk vous propose alors d'enregistrer le résultat avec l'extension « .RData ».



*Exemple de calcul du facteur LS sur la zone Voh-Koné-Pouembout*

## II.4 FACTEUR ÉRODIBILITÉ DES SOLS (K)

Le facteur K reflète la résistance d'un sol à l'érosion causée par la force qu'engendrent les précipitations. Contrairement à l'érosivité de la pluie qui est en lien direct avec ses propriétés physiques, l'érodibilité d'un sol est la résultante de plusieurs variables. En effet ce sont les propriétés physiques, chimiques et minéralogiques des sols ainsi que leurs interactions qui affectent le facteur K. A ceci s'ajoute une grande variabilité spatiale.

De toutes les méthodes permettant de calculer le facteur K, la méthode synthétisée par le nomogramme de sol construit par Wischmeier est la plus utilisée et la plus citée.

Ce nomogramme est basée sur l'équation :

$$100K = 2,1 \times M^{1,14} \times 10^{-4}(12 - MO) + 3,25 \times (b - 2) + 2,5 \times (c - 3) \quad (7)$$

Où:

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

MO est le pourcentage de matière organique,

b est le code de perméabilité,

c est le code de structure.

Code	Structure du sol
1	Très fine
2	Fine
3	Moyenne ou grossière
4	Massive

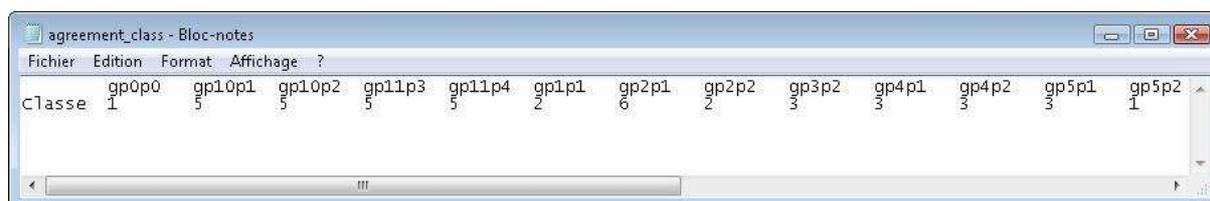
Code	Perméabilité
1	Rapide
2	Moyenne à rapide
3	Moyenne
4	Lente à moyenne
5	Lente
6	Très lente

**Signification des codes pour la structure du sol et la perméabilité (d'après Wischmeier & Smith, 1978)**

Un unique programme *Kfactor\_raster.r* a été développé afin de déterminer le facteur K. Une interface semblable à celles utilisée dans *Rfactor.r* et *LSfactor.r* permet à l'utilisateur de charger les données en entrée du programme :

- La carte pédologique de la zone d'étude au format ascii (cf. p.9 pour le format des fichiers ascii), à la même résolution que le facteur R et le facteur LS.

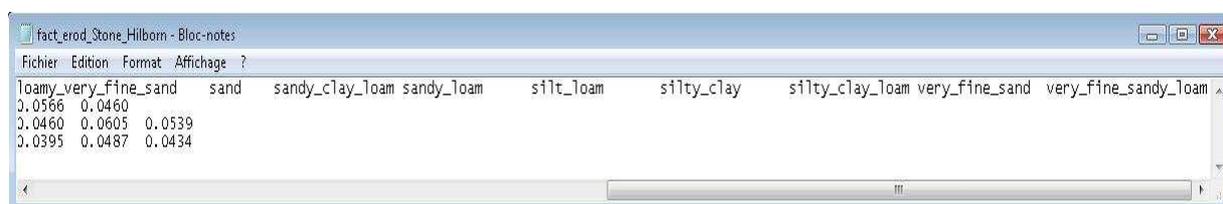
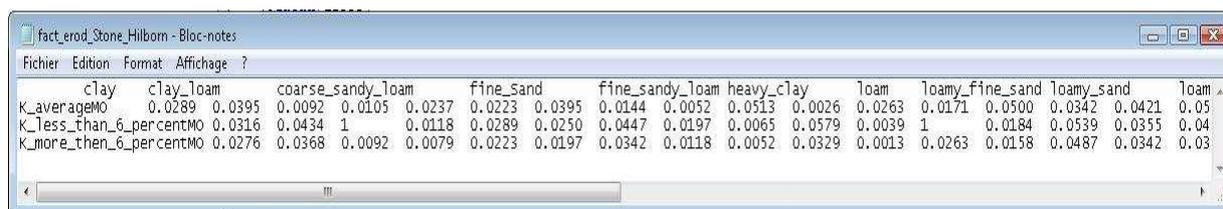
- Un fichier texte (.txt) qui permet de faire la correspondance entre les classes d'origine de la carte pédologique et les classes de la carte pédologique simplifiée. Les classes de la carte pédologique simplifiée sont des entiers.



**Fichier de correspondance entre les classes de la carte pédologiques et les classes de la carte simplifiée.**

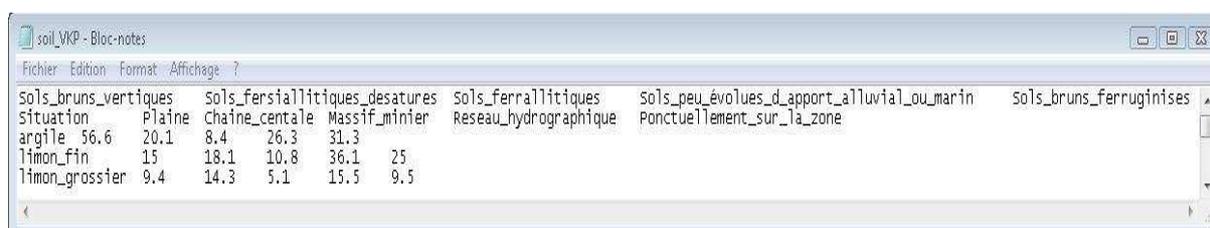
**(Les séparations sont des tabulations)**

- Un fichier texte (.txt) comprenant les facteurs d'érodibilité (K) (d'après Stone et Hilborn 2002) suivant le type de sol en fonction de la quantité de matière organique contenue dans le sol. Ce fichier est toujours identique, il ne doit pas être modifié.



**Fichier des facteurs d'érodibilité de Stone et Hilborn.**

- Un fichier texte de constitution des différents sols de la carte pédologique simplifiée en tenant compte de la matière organique présente dans le sol (%argile, %limon fin, %limon grossier)



**Exemple de fichier de constitution des différents types de sols sur la zone Voh-Koné-Pouembout**

**(Le pourcentage de matière organique présent dans le sol est pris en compte)**

- Un fichier texte de constitution des différents sols de la carte pédologique simplifiée sans tenir compte de la matière organique présente dans le sol (%argile, %limon fin, %limon grossier)

	soils_brunsvertiques	soils_fersiallitiques_desatures	soils_fersiallitiques	soils_peu_evolues_d_apport_alluvial_ou_marin	soils_brunsferrugineuses
Situation	Plaine	Chaîne_centrale	Massif_minier	Reseau_hydrographique	Ponctuellement_sur_la_zone
argile	56.7	21.4	8.8	30.7	38.3
limon	24.5	34.6	16.7	60.3	42.2
sable	18.8	44	74.5	9	19.5

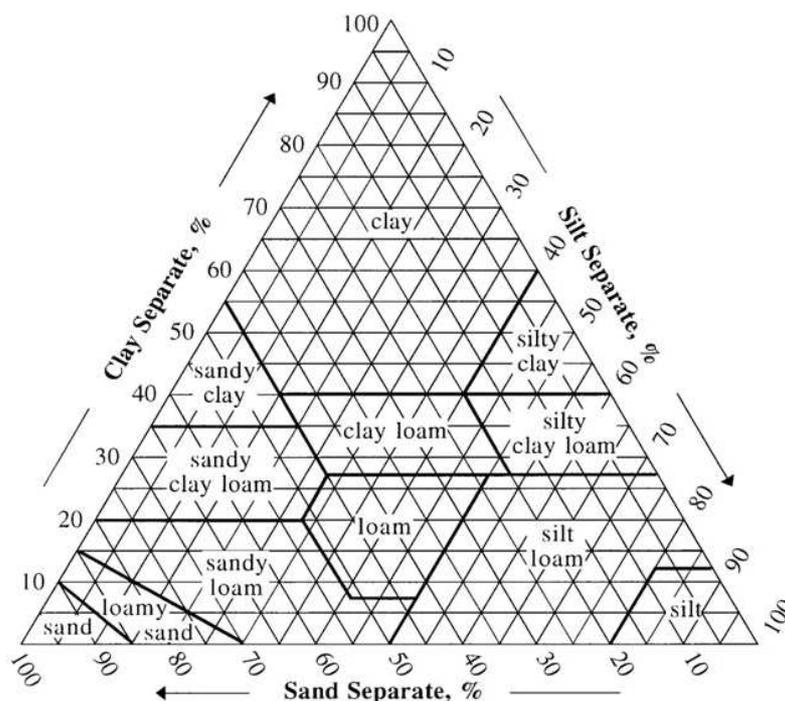
**Exemple de fichier de constitution des différents types de sols sur la zone Voh-Koné-Pouembout**

**(Le pourcentage de matière organique présent dans le sol n'est pas pris en compte)**

- Le shapefile de **points** délimitant les frontières de la zone d'étude (dans un système métrique).
- La résolution du raster de sortie en mètres.

Une fois les données en entrée du programme *Kfactor\_raster.r* chargées, la carte pédologique d'origine est simplifiée à l'aide du tableau de correspondance entre les classes d'origine et les classes de la carte pédologique simplifiée.

Le triangle des textures USDA (Brown, 2003) permettant de déterminer la texture de chaque grand type de sol a été numérisé.



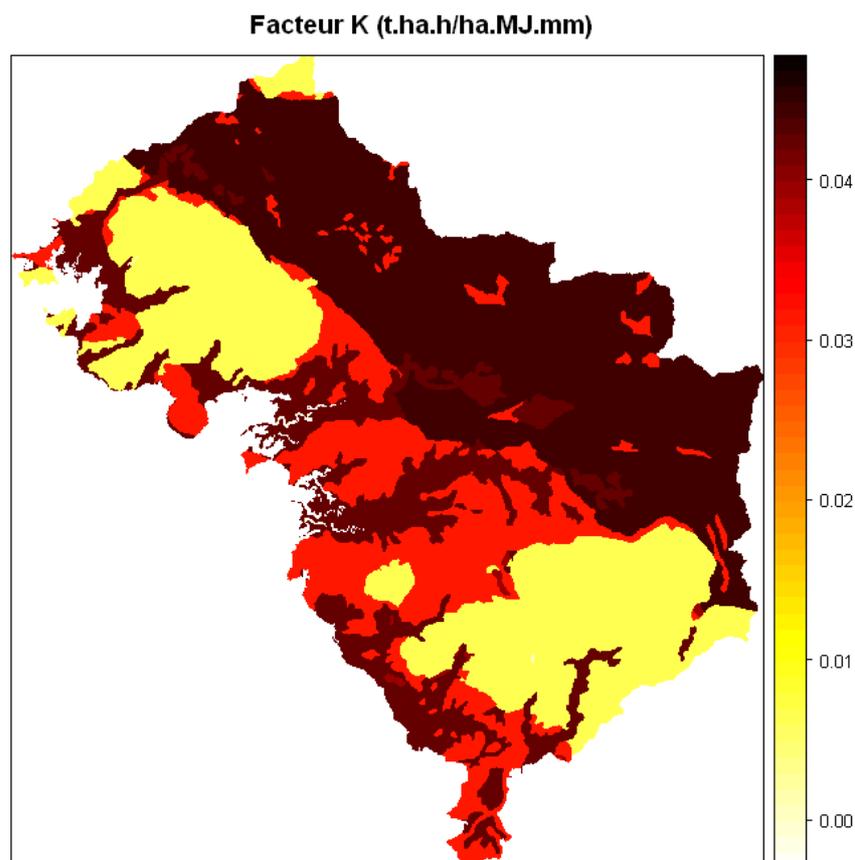
**Triangle des textures USDA**

Ce triangle et le fichier de constitution des différents sols de la carte pédologique simplifiée sans tenir compte du pourcentage de matière organique sont alors utilisés pour déterminer la texture de chaque sol.

Les différentes textures trouvées, il ne reste plus qu'à déterminer le facteur d'érodibilité K correspondant à chaque sol en utilisant la table de correspondance de Stone et Hilborn. Pour une texture de sol donnée, le facteur K dépend du pourcentage de matière organique présent dans le sol. On utilisera donc le fichier de constitution des différents sols tenant compte du pourcentage de matière organique présent dans le sol pour indiquer la ligne de la table de correspondance de Stone et Hilborn à laquelle se trouve le facteur K recherché.

Chaque pixel du raster de sortie prend alors la valeur du facteur K correspondant à la classe de sol à laquelle il appartient.

Pour finir on applique, comme aux facteurs précédemment calculés, le masque de la zone d'étude. Le résultat est stocké dans la variable K de type SpatialPixelDataFrame et une boîte de dialogue tcltk s'ouvre pour vous permettre d'enregistrer le résultat final, toujours avec l'extension « .RData ».



*Exemple de calcul du facteur K sur la zone Voh-Koné-Pouembout*

Contrairement aux facteurs R et LS, ce programme ne peut pas être utilisé de façon générique pour déterminer le facteur K sur n'importe quelle zone géographique. En effet des modifications seraient à apporter au niveau de la simplification de la carte pédologique pour qu'elle se fasse de façon transparente quelque soit la nomenclature de la carte pédologique d'origine.

## II.5 FACTEUR COUVERTURE VÉGÉTALE ET PRATIQUES CULTURALES (C)

Ce facteur prend en compte l'occupation du sol (couvert végétal, aménagements et pratiques agricoles). Le couvert végétal est absolument à prendre en compte puisque c'est de lui que va dépendre l'amortissement des gouttes de pluie, le ralentissement du ruissellement et l'infiltration (Roose, 1994).

Le facteur C dépend donc :

- Du pourcentage de sol à nu, l'érosion intervenant majoritairement sur des sols à nus lors d'épisodes pluvieux agressifs.
- De la hauteur du couvert végétal. Si le couvert végétal est trop élevé, l'amortissement n'interviendra plus et après une première interception, les gouttes seront de nouveau rejetées vers le sol.
- De l'architecture des plantes. Des plantes en forme d'entonnoir auront tendance à drainer l'écoulement et à provoquer des ravinements. A l'inverse, les plantes dites « parapluies » vont disperser les gouttes d'eau et donc diminuer leur énergie.

Le facteur C est défini comme le ratio de la perte en sol sur des terrains cultivés sous des conditions spécifiques par rapport à la perte en sol correspondante sur un terrain en jachère (Wischmeier & Smith, 1978). Il peut être calculé à l'aide de nomogrammes (Roose, 1994) ou estimé en prenant des valeurs connues pour un certain type de couvert végétal.

C	Type de couvert végétal
0.058	reboisement dense
0,13	Forêt moyennement dense
0,17	matorral dégradé, parcours dense
0,18	reboisement clair
0,20	matorral clair, parcours dense,
0,22	Matorral très dégradé
0,32	steppes à alfa
0,70	céréaliculture
1	Terrain nu

*Valeur de C pour différents types de couvert végétal (Sadiki & al., 2004)*

Un unique programme *Cfactor.r* à été développé afin de déterminer le facteur C. Une interface semblable à celles utilisée dans *Rfactor.r*, *LSfactor.r* et *Kfactor\_raster.r* permet à l'utilisateur de charger les données en entrée du programme :

- La carte du couvert végétal sur la zone d'étude au format ascii (cf. p.9 pour le format des fichiers ascii), à la même résolution que les facteurs précédemment calculés.
- Un fichier texte (.txt) qui permet de faire la correspondance entre les classes d'origine de la carte du couvert végétal et les classes de la carte du couvert végétal simplifiée. Les classes de la carte simplifiée sont des entiers.

Classe	Nuages	Eau	Sol_nu	Sol_nu_de_mangrove	Mangrove_clairseme	Mangrove_dense	Savane	Broussaille	Maquis_minier_clairseme	Maquis_minier_dense	Végétation_dense
11	11	16	16	11	11	12	13	14	14	15	

**Fichier de correspondance entre les classes de la carte du couvert végétal et les classes de la carte simplifiée.**

*(Les séparations sont des tabulations)*

- Un fichier texte (.txt) comprenant les facteurs C correspondants aux différentes classes de couvert végétal de la carte simplifiée.

Facteur_C	vegetation_dense	Savane	Maquis_minier	Broussaille	Sol_nu
0.001	0.04	0.25	0.72	1	

**Fichier de correspondance entre le couvert végétal et le facteur C**

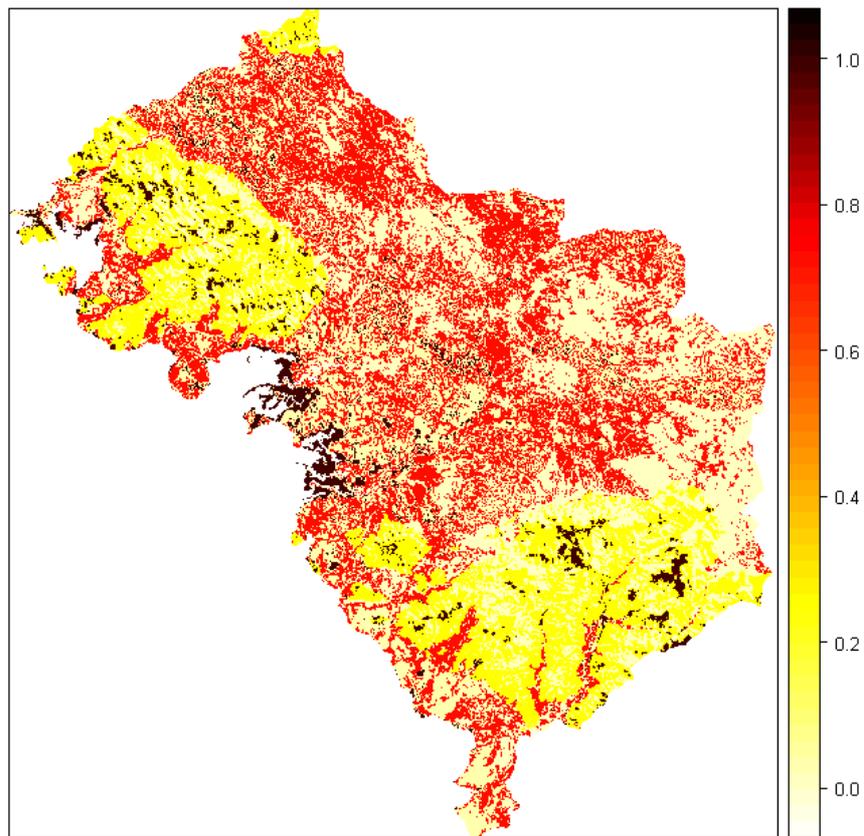
- Le shapefile de **points** délimitant les frontières de la zone d'étude (dans un système métrique).
- La résolution du raster de sortie en mètres.

Une fois les données en entrée du programme *Cfactor.r* chargées, la carte du couvert végétal est simplifiée à l'aide du tableau de correspondance entre les classes d'origine et les classes de la carte du couvert végétal simplifiée.

Le fichier de correspondance entre le couvert végétal et le facteur C est alors utilisé pour déterminer la valeur du facteur C en chacun des pixels de la zone.

Pour finir on applique le masque de la zone d'étude. Le résultat est stocké dans la variable C de type SpatialPixelDataFrame et une boîte de dialogue tcltk s'ouvre pour vous permettre d'enregistrer le résultat final, toujours avec l'extension « .RData ».

### Facteur C



#### *Exemple de calcul du facteur C sur la zone Voh-Koné-Pouembout*

Comme pour le facteur K, ce programme ne peut pas être utilisé de façon générique pour déterminer le facteur C sur n'importe quelle zone géographique. En effet, il se pose un problème identique à celui soulevé par la simplification de la carte pédologique. Le programme est pour l'instant dépendant de la nomenclature de la carte du couvert végétal d'origine.

### III. DÉTERMINATION DES ZONES D'ÉROSION CONTRIBUANT AU RÉSEAU HYDROGRAPHIQUE.

Lors du processus d'érosion, toute la matière arrachée ne finit pas dans le réseau hydrographique. Il est donc nécessaire de déterminer les zones d'érosion qui contribuent à ce dernier afin de fournir une quantification pertinente de la pollution terrigène sur les zones côtières. Ce programme *delivery.r* permet de cibler chaque pixel de la zone d'étude qui contribue au réseau hydrographique (valeur 1 pour un pixel qui contribue au réseau, et valeur 0 pour un pixel dans lequel la matière se dépose sans contribuer au réseau). En multipliant le résultat de *delivery.r* par le facteur A de spatialisation et quantification de l'érosion hydrique obtenu en utilisant l'outil développé dans le paragraphe I, on spatialise et quantifie alors, pour chaque pixel de la zone d'étude, la matière issue de l'érosion hydrique qui est transportée par le réseau hydrographique.

#### III.1 CALCULS PRÉLIMINAIRES

Au préalable, 3 programmes ont été développés dont les résultats seront utilisés par la suite :

- *slope\_deg.r* qui utilise les programmes *focalflow.r* et *down\_slope\_angle.r* (p.9) ainsi que le mnt et le shapefile du contour de la zone d'étude pour déterminer l'angle en degré pour chaque pixel. On obtient alors le raster des pentes en degré dans la variable *slope\_deg* de type *SpatialPixelDataFrame*. Une boîte de dialogue *tk* vous propose d'enregistrer le résultat avec l'extension « .RData ».
- *focalflow\_flowdirection.r* qui utilise les programmes *focalflow.r* et *down\_slope\_angle.r* (p.9) ainsi que le mnt et le shapefile du contour de la zone d'étude pour déterminer les rasters de direction des flux entrants et sortants respectivement dans les variables *flowdir\_in* et *flowdir\_out* de type *SpatialPixelDataFrame*. Une première boîte de dialogue *tk* vous propose d'enregistrer le résultat *flowdir\_out* avec l'extension « .RData », et une deuxième le résultat *flowdir\_in*.
- *accum.r* qui utilise les programmes *focalflow.r*, *fromcell.r* et *flow\_accumulation.r* ainsi que le mnt et le shapefile du contour de la zone d'étude pour calculer le raster d'accumulation des flux ; soit pour chaque pixel de la zone d'étude, le nombre de pixels qui le précèdent dans le ou les flux auquel(s) il appartient. Pour ce faire, le programme *fromcell.r* détermine le nombre de pixels s'accumulant dans les pixels à une altitude donnée pour une direction donnée (ex : si on prend un pixel P à une altitude A et que l'on s'intéresse à la direction « ouest », le résultat retourné par *fromcell.r* pour le pixel A sera 0 pixel si le flux sortant du pixel à l'ouest du pixel A n'est pas la direction « est », ou dans le cas contraire, la valeur du raster d'accumulation des flux déjà calculée pour le

pixel à l'ouest du pixel A + 1 pixel.). Le programme *flow\_accumulation.r* parcourt les altitudes du mnt dans l'ordre décroissant, somme les résultats du programme *fromcell.r* dans les 8 directions pour chaque altitude et construit ainsi le raster d'accumulation des flux altitude par altitude.

### III.2 CALCUL DU RASTER DELIVERY

Afin de déterminer les pixels contribuant ou non au réseau hydrographique, 5 programmes ont été développés :

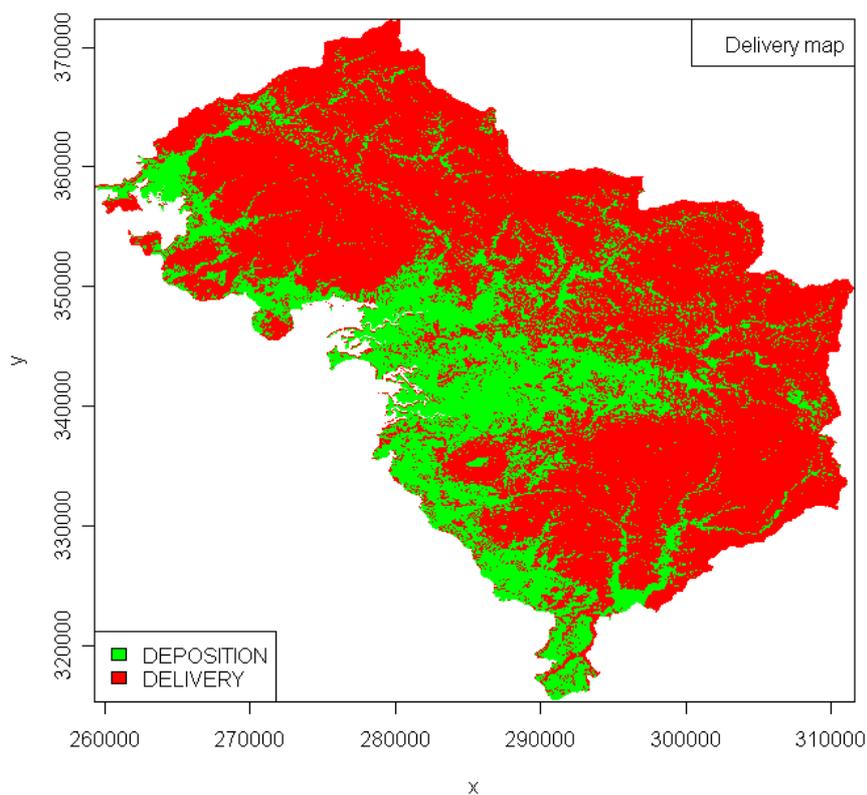
- *check\_delivery.r* qui permet à partir du mnt, du raster d'accumulation des flux, du raster de direction des flux sortants, du raster des pentes en degrés pour chaque pixel, d'un seuil en nombre de pixels (explicité ultérieurement) et d'un angle en-dessous duquel la pente est considérée comme étant faible (choisi par l'utilisateur), de déterminer si un pixel contribue ou non au réseau hydrographique (1 : contributif, 0 : non contributif).
- *next\_flow\_slope.r* qui permet à partir du raster de directions des flux sortants, du raster des pentes, du mnt et d'une altitude donnée, de déterminer pour chaque pixel à cette altitude la pente du pixel suivant dans le flux auquel il appartient.
- *next\_flow\_delivery.r* qui à partir du raster de directions des flux sortants, du raster delivery jusqu'alors élaboré, du mnt et d'une altitude donnée, retourne pour chaque pixel à cette altitude la valeur du raster delivery du pixel suivant dans le flux auquel il appartient (NA si la valeur n'est pas encore connue ou si le pixel suivant est hors zone d'étude, 1 si le pixel suivant est contributif, 0 s'il ne l'est pas).
- *stream\_buffer.r* qui permet à partir du raster d'accumulation des flux, du raster delivery et du seuil utilisé dans *check\_delivery.r*, d'attribuer aux pixels voisins d'un pixel se situant sur le réseau hydrographique un statut contributif dans tous les cas (Ce programme n'est utilisé que si la résolution du raster est inférieure ou égale à 20m).
- *delivery.r* qui utilise les programmes précédents pour élaborer la carte de contribution au réseau hydrographique sur la zone d'étude.

Au lancement du programme *delivery.r*, il vous sera également demandé de charger les données d'entrée nécessaires à l'exécution du programme :

- Le MNT au format ascii.
- Le shapefile de **points** délimitant les frontières de la zone d'étude (dans un système métrique).
- Un seuil en nombre de pixels. Si le raster d'accumulation des flux donne pour un pixel un nombre de pixels accumulés supérieur à ce seuil, on considère que ce pixel fait partie du réseau hydrographique.
- Un angle en degrés. Si la pente d'un pixel P est inférieure à cet angle et que la pente du pixel suivant dans le flux auquel il appartient est également inférieure à cet angle ou que ce pixel n'appartient pas à la zone d'étude, on considère que le pixel P ne contribue pas au réseau hydrographique.
- Le raster des pentes en degrés, le raster d'accumulation des flux et pour finir le raster de directions des flux sortants. Ces trois rasters sont les fichiers « .RData » obtenus en utilisant respectivement les programmes *slope\_deg.r*, *accum.r*, et *focalflow\_flowdirection.r* (NB : les résultats obtenus à l'aide de ces trois programmes sont tous de type SpatialPixelDataFrame).

Une fois les données en entrée et les fonctions nécessaires au calcul du raster *delivery* chargées, une première version du raster *delivery* est calculé à l'aide de la fonction *check\_delivery* du programme *check\_delivery.r*. Si sa résolution est inférieure à 20 mètres, la fonction *stream\_buffer* du programme *stream\_buffer.r* est alors appliquée à ce raster et pour en calculer une nouvelle version, à partir de la première, pour forcer les pixels se trouvant autour des pixels du réseau hydrographique à être contributifs.

On applique, pour finir, au raster *delivery* le masque de la zone d'étude correspondant au shapefile de points chargé en entrée du programme de la même manière que pour les facteurs de l'équation USLE (cf. facteur R p.6). On obtient alors le résultat final dans la variable *delivery* de type SpatialPixelDataFrame. Comme pour les différents facteurs de l'équation USLE, une boîte de dialogue tcltk vous propose alors d'enregistrer le résultat avec l'extension « .RData ».



**Exemple de calcul du raster delivery sur la zone Voh-Koné-Pouembout**

## CONCLUSION

A partir de la méthodologie de caractérisation de l'érosion hydrique s'appuyant sur une spatialisation et une quantification des principaux facteurs entrant en jeu dans le processus érosif développée par Julia PRINTEMPS (Estimation et spatialisation de l'érosion hydrique des sols en Nouvelle-Calédonie *UTILISATION DE L'ÉQUATION UNIVERSELLE DE PERTE DE SOL ASSISTÉE D'UN SIG SUR LES COMMUNES DE VOH, KONÉ ET POUEMBOUT*), nous avons pu développer un outil générique de mise en œuvre du modèle USLE en nous affranchissant au maximum des logiciels de SIG courants. Les résultats obtenus concordent avec ceux obtenus en utilisant le logiciel de SIG Arcgis.

Cet outil permet désormais d'utiliser de façon simple la méthode développée par PRINTEMPS Julia et peut apporter une aide importante aux décideurs et aménageurs pour simuler des scénarii d'évolution d'une zone d'étude et ainsi planifier les interventions de lutte contre l'érosion.

Enfin le programme *delivery.r* associé au résultat de l'outil générique de mise en œuvre du modèle USLE (facteur A p.2) donne une première estimation spatialisée et quantifiée de la pollution terrigène dans le réseau hydrographique due à l'érosion hydrique des sols.

## BIBLIOGRAPHIE

- PRINTEMPS Julia (2007) - Estimation et spatialisation de l'érosion hydrique des sols en Nouvelle-Calédonie, *Utilisation de l'équation universelle de perte en sol assistée d'un sig sur les communes de Voh, Koné, Pouembout*. Mémoire de master2, IRD/OGDDT2
- PRINTEMPS Julia (2008) - Méthodologie de spatialisation et d'estimation des apports terrigènes au lagon issus de l'érosion des sols en Nouvelle-Calédonie, *Etude menée sur les communes de Voh, Koné et Pouembout*
- DUMAS P. (2004) - Caractérisation des littoraux insulaires : approche géographique par télédétection et SIG pour une gestion intégrée, Application en Nouvelle-Calédonie. Thèse de doctorat, Orléans, 402p.
- LUNEAU G. (2006) - La spatialisation de l'aléa Erosion des sols en Nouvelle-Calédonie, méthodologie définie sur les communes de Dumbea, Païta et Boulouparis. Mémoire de master2, IRD/Université de Toulouse, 76p.
- Mc COOL D., BROWN L., FOSTER G., MUTCHLER C., MEYER L. (1987) - Revised slope steepness factor for the Universal Soil Loss Equation. Transaction of the American Society of Agricultural Engineers 30, pp. 1387-1396.
- 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. Première consultation : décembre 2001.
- STONE R.P., HILLBORN D. (2002) - Universal Soil Loss Equation, Ontario, Canada. Ontario Ministry of Agriculture and Food (OMAFRA).
- WISCHMEIER W.H., SMITH D.D. (1978) - Predicting Rainfall Erosion Losses; A guide to conservation planning, Agriculture handbook No. 537. US department of Agriculture Science and Education Administration, Washington, DC, USA, 163 p.

## WEBOGRAPHIE

<http://www.crisponline.net/>, site du projet CRISP

[http://www.espace.ird.fr/04\\_fiche\\_crisp.htm](http://www.espace.ird.fr/04_fiche_crisp.htm), site du chantier GERSA/CRISP à l'IRD unité ESPACE.

<http://cran.r-project.org/>, site de téléchargement du logiciel R et des différents packages

## ANNEXE : CONVERSION D'UN RASTER DE TYPE SPATIALPIXELDATAFRAME EN UN RASTER DE TYPE ASCII.

Les rasters issus des différents programmes présentés précédemment sont tous de type SpatialPixelDataFrame. Ces rasters pouvant être utilisés par la suite indépendamment de l'étude de l'équation USLE, il apparaît nécessaire de pouvoir convertir ces données dans un format universel : le format ascii.

Le programme ci-dessous *sptoascii.r* permet cette conversion. Il réalise la fonction *sptoascii* qui prend en paramètre le raster à convertir (variable de type SpatialPixelDataFrame) et retourne le raster de type ascii dans le fichier data.txt dans le répertoire courant.

### Code source :

```
# create ascii file of vector.data for GIS softwares
sptoascii = function(vector.data){

  # create matrix from vector.data
  dim = attr(attr(vector.data,"grid"), "cells.dim")
  dim.x = dim[1]
  dim.y = dim[2]

  # add headers to ascii file
  ncols = c("ncols", dim.x)
  nrows = c("nrows", dim.y)

  bbox.image = attr(vector.data, "bbox")

  xllcorner = c("xllcorner", bbox.image[1,1])
  yllcorner = c("yllcorner", bbox.image[2,1])

  cellsize = attr(attr(vector.data, "grid"), "cellsize")[1]
  cellsize = c("cellsize", cellsize)

  NODATA_value = c("NODATA_value", "-9999")

  write(ncols, file = "data.txt", ncolumns = 2, sep = " ")
  write(nrows, file = "data.txt", ncolumns = 2, append = TRUE, sep = " ")
  write(xllcorner, file = "data.txt", ncolumns = 2, append = TRUE, sep = " ")
  write(yllcorner, file = "data.txt", ncolumns = 2, append = TRUE, sep = " ")
  write(cellsize, file = "data.txt", ncolumns = 2, append = TRUE, sep = " ")
  write(NODATA_value, file = "data.txt", ncolumns = 2, append = TRUE, sep = " ")
}
```

```
# add matrix to ascii file
foo = matrix(attr(vector.data, "data")[, 1], dim.x, dim.y)
foo[is.na(foo)] = -9999
write(foo, file = "data.txt", ncolumns = dim.y, append = TRUE)

}
```