

Modélisation de l'érosion hydrique des sols sur un bassin versant du sud-ouest de Madagascar, le Fiherenana

Evelyne Payet, Pascal Dumas, Gwenaëlle Pennober

► **To cite this version:**

Evelyne Payet, Pascal Dumas, Gwenaëlle Pennober. Modélisation de l'érosion hydrique des sols sur un bassin versant du sud-ouest de Madagascar, le Fiherenana. *VertigO : La Revue Électronique en Sciences de l'Environnement*, VertigO, 2012, 11 (3), 10.4000/vertigo.12591 . hal-01239641

HAL Id: hal-01239641

<https://hal.univ-reunion.fr/hal-01239641>

Submitted on 15 Jun 2018

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



Modélisation de l'érosion hydrique des sols sur un bassin versant du sud-ouest de Madagascar, le Fiherenana

Evelyne Payet, Pascal Dumas et Gwenaëlle Pennober



Édition électronique

URL : <http://journals.openedition.org/vertigo/12591>

DOI : 10.4000/vertigo.12591

ISBN : 978-2-923982-80-9

ISSN : 1492-8442

Éditeur

Les Éditions en environnement Vertigo

Ce document vous est offert par Les Bibliothèques de l'Université de La Réunion



Référence électronique

Evelyne Payet, Pascal Dumas et Gwenaëlle Pennober, « Modélisation de l'érosion hydrique des sols sur un bassin versant du sud-ouest de Madagascar, le Fiherenana », *Vertigo - la revue électronique en sciences de l'environnement* [En ligne], Volume 11 Numéro 3 | décembre 2011, mis en ligne le 20 septembre 2012, consulté le 15 juin 2018. URL : <http://journals.openedition.org/vertigo/12591> ; DOI : 10.4000/vertigo.12591

Ce document a été généré automatiquement le 15 juin 2018.



Les contenus de *Vertigo* sont mis à disposition selon les termes de la Licence Creative Commons Attribution - Pas d'Utilisation Commerciale - Pas de Modification 4.0 International.

Modélisation de l'érosion hydrique des sols sur un bassin versant du sud-ouest de Madagascar, le Fiherenana

Evelyne Payet, Pascal Dumas et Gwenaëlle Pennober

Introduction

- 1 Sur les marges insulaires de l'Afrique orientale, Madagascar, à l'instar d'autres grandes îles tropicales, présente des littoraux où l'accrétion littorale l'emporte nettement sur l'érosion des côtes (Battistini, 1975 ; Salomon, 2009). Cette accrétion est devenue en quelques décennies un phénomène d'importance qu'il convient de cerner et d'expliquer en raison des impacts sur les écosystèmes et les populations côtières (hypersédimentation sur les récifs, ensablement de villages de pêcheurs et des terres cultivables par déflation éolienne). Ainsi, dans la région de Tuléar, dans le sud-ouest de Madagascar, se développe sur plus de 18 km de long, le Grand Récif de Toliara (Tuléar). La dégradation de cette entité, constatée depuis les années 1990 (Vasseur, 1997) met en danger la pérennité de l'intégralité de l'écosystème corallien et des usages. Les principales causes de cette dégradation seraient d'une part induites par des facteurs endogènes tels que la pollution, la destruction mécanique du récif par piétinement et la surexploitation des ressources halieutiques et d'autre part elle serait accentuée par des facteurs exogènes tels que l'hypersédimentation du milieu récifal. L'augmentation constante de la turbidité des eaux et le recouvrement de la structure par les matériaux fluviaux seraient, d'après la littérature (Vasseur, 1997 ; Salomon 2009), essentiellement liés à la forte érosion sur le bassin versant du Fiherenana. Les apports du fleuve Onilahy resteraient négligeables, du fait de la présence d'un vaste canyon sous-marin, à l'embouchure de son estuaire (Battistini, 1975). Ces facteurs tendraient donc à expliquer le développement d'un système algal en zone lagunaire (Ranaivomanana, 2006). La résilience des récifs espérée par la mise en place de l'aire marine protégée est suspendue à la dynamique du bassin versant du Fiherenana tenue responsable de l'hypersédimentation.

- 2 Le climat subaride, les formations sédimentaires, le différentiel des pentes d'amont en aval, l'intensité et la forte irrégularité interannuelle des précipitations (Vasseur, 1997), la difficulté de régénération de la végétation originelle (Sourdat, 1977) confèrent au sud-ouest de Madagascar une importante sensibilité face aux processus érosifs. La démographie et la crise économique pérennisent en outre des facteurs aggravants comme le surpâturage, la pratique des brûlis et la déforestation.
- 3 La quantification et la spatialisation de l'érosion des sols constituent une approche essentielle pour l'appréhension des processus en cours sur les bassins versants. De nombreuses modélisations des processus de transfert de sédiments ou polluants ont été proposées. Ces dernières sont basées sur des représentations mathématiques des processus hydrologiques et érosifs fondamentaux (Jah et Paudel, 2010). Elles sont souvent appliquées à des zones géographiques restreintes (parcelles, sous bassins versants) et nécessitent pour leurs calibrations de nombreuses mesures de terrains telles que le modèle SWAT, Soil and Water Assessment Tool, (Arnold *et al.* 1995 ; Neistch *et al.*, 2002), ou encore la modélisation SHE, Système Hydrologique Européen, (Abbott *et al.*, 1986 ; Bathurst *et al.*, 1992).
- 4 La modélisation USLE (Universal Soil Loss Equation) mise en œuvre par Wischmeier et Smith en 1978 permet d'apporter une estimation des particules de sol susceptibles d'être arrachées et de spatialiser les zones les plus sensibles à l'érosion en nappe, sans prise en compte des dynamiques de transport/sédimentation des matières terrigènes. Le modèle a été mis en œuvre à partir de vingt années de données d'essais d'érosion en parcelles et sur des petits bassins versants de la Grande Plaine américaine (FAO : <http://www.fao.org/docrep/T1765F/t1765f00.htm>). L'objectif était alors d'établir un modèle empirique de prévision de l'érosion à l'échelle de la parcelle, afin d'aménager celle-ci pour que l'érosion régresse en dessous d'une valeur limite tolérable étant donné le climat, la pente et les facteurs de production. Bien que conçue aux États-Unis, l'équation universelle de perte en sols USLE constitue un des modèles les plus adaptés pour l'estimation annuelle de l'érosion hydrique potentielle des sols. En effet, il a été mis en pratique dans de nombreux pays du Nord et adapté en fonction du contexte climatique, pédologique, topographique à différents pays du Sud et en milieu tropical (Renard et Freimund, 1994 ; Mati *et al.*, 2000 ; Boggs *et al.*, 2001 ; Cohen *et al.*, 2005 ; Dumas *et al.*, 2010 ; Dumas et Printemps, 2010 ; Fengyin Ye *et al.*, 2010). Afin de tenir compte des contextes (données, type de milieu et de climat), différentes équations dérivées ont été proposées. L'application du modèle à une région du globe donnée consiste donc aujourd'hui à choisir les méthodes les plus adaptées pour le calcul des facteurs. La robustesse, la reproductibilité à différents niveaux d'échelles et à différents milieux de ce modèle (Jabbar et Chen, 2005 ; Mati *et al.*, 2000) permettent alors d'apporter les premiers éléments de réponses sur la dégradation des bassins versants pour les territoires peu renseignés. 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, à savoir l'érodibilité des sols, la topographie, l'occupation du sol, l'érosivité des pluies, les pratiques culturales antiérosives. Seuls les processus d'érosion en nappe sont pris en compte dans le modèle. Par ailleurs, l'usage de l'équation USLE 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. L'équation est ainsi implémentée sous « IDRISI Kilimanjaro » en tant qu'outil d'analyse spatiale de base. Malgré les critiques

faites sur l'utilisation abusive du modèle USLE dans des conditions autres que celles où il a été mis en œuvre, en pratique cette approche peut donner des résultats pertinents pour l'évaluation potentielle de l'érosion hydrique des sols.

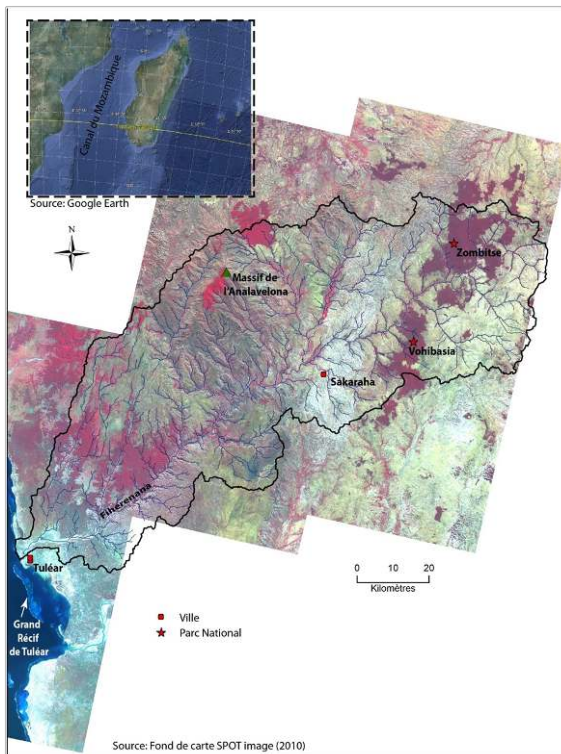
- 5 Cet article a pour but de décrire la mise en œuvre d'un modèle spatialisé et quantitatif de l'érosion hydrique potentielle sur le bassin versant du Fiherenana, basé sur l'Équation Universelle de Perte en Sol (USLE). Il vise à explorer les jeux de données exploitables et à apporter une estimation sur la quantité de matériaux potentiels fournie par le bassin versant et susceptible de contribuer à l'accrétion littorale. Le modèle ne prend pas en charge les processus de transport/dépôt par le réseau hydrographique, il s'agit donc ici de mettre en lumière les zones du bassin versant les plus sensibles à l'érosion hydrique des sols et de donner un ordre de grandeur des apports terrigènes. Ces premières estimations ont pour vocation de contribuer à une meilleure connaissance de la dégradation des bassins versants de grande dimension des pays en voie de développement, pour une meilleure gestion des littoraux.

Matériel et méthode

Localisation et description du site d'étude

- 6 Le Fiherenana est un fleuve intermittent, alimenté par des précipitations abondantes durant l'été austral d'arrière-pays qui arrivent à la mer. En hiver, l'écoulement de surface s'interrompt à quelques dizaines de kilomètres de la mer pour laisser la place à un intéroflux. Le module spécifique du fleuve n'est pas connu précisément, mais estimé inférieur à 30 m³/s (Lebigre, 1997), l'ordre de crue maximum enregistré est de 10 000 m³/s enregistré lors du cyclone Angèle en 1978 (Chaperon *et al.*, 1993). L'ensemble des auteurs (Pallas, 1984 ; Chaperon *et al.*, 1993 ; Salomon, 2009) s'accorde à dire que malgré une superficie nettement inférieure à celle des fleuves voisins, la capacité potentielle d'érosion du Fiherenana est supérieure à celle des fleuves du sud-ouest de Madagascar.

Figure 1. Bassin versant du Fiherenana / Fiherenana basin

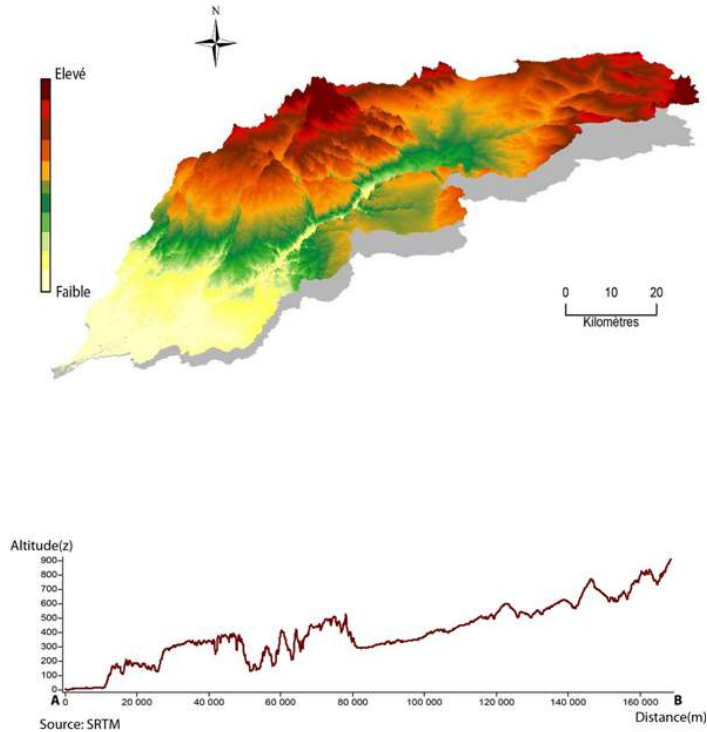


D'une superficie de plus de 7 700 km² (Payet, 2009), le bassin versant du Fiherenana (Figure 1) est une unité hydrogéomorphologique secondaire du sud-ouest de Madagascar. Celle-ci est limitée au nord par le bassin versant du Mangoky (55 750 km²) et au sud par celui de l'Onilahy (32 000 km²) (Battistini, 1986 ; Chaperon *et al.*, 1993). Le bassin versant du Fiherenana est constitué de quatre entités géomorphologiques distinctes. Le delta du fleuve est caractérisé par des zones d'alluvions et d'anciens chenaux abandonnés. La plaine côtière mise en place lors du quaternaire, repose sur le compartiment effondré du bassin sédimentaire de l'Ouest malgache. Cette unité présente une succession de dunes grésifiées, de cordons littoraux constitués de sable d'origine continentale et corallienne. Les plateaux intermédiaires sont surélevés de la plaine littorale par un escarpement de faille (Faille de Tuléar) et sont principalement formés de calcaires éocènes (Lebigre, 1997). La haute vallée constitue une zone d'affleurement de séries de grès massifs, de grès et d'argilites et enfin de grès intercalés de séries marines. Les unités géomorphologiques associées sont des dômes, des tables et des cuestas (Guilcher, 1967). Bien que des affleurements calcaires soient apparents sur le bassin versant du Fiherenana, ces modelés restent ponctuels dans le paysage. Peu de modelés spécifiques karstiques sont relevés sur le terrain et une dégradation en nappe des structures est constatée avec la présence prépondérante de matériaux meubles. L'érosion en nappe constitue donc sur le bassin versant une dynamique pertinente à étudier.

- 7 Outre l'encaissement du cours d'eau, l'ensemble du bassin versant est inscrit sur des terrains relativement peu pentus, avec une moyenne des pentes de l'ordre de 7 % (Figure 2). Il présente des paysages vallonnés. Les principaux reliefs sont localisés sur le massif de l'Analavelona disséqué par les affluents du Fiherenana qui culmine à 1 343 m d'altitude. On peut ajouter à cela les buttes-témoins (1030-1040 m d'altitude) localisées sur les hauts

plateaux du bassin versant formant le Col du Tapia et qui définissent la ligne de partage des eaux entre le Fiherenana et l'Onilahy.

Figure 2. Coupe topographique du bassin versant du Fiherenana / Topography of the Fiherenana basin



- 8 Le climat est de type semi-aride en aval et subhumide en amont, associé à une forte irrégularité des précipitations annuelles. La région enregistre les plus faibles précipitations de l'île, soit environ 400 mm, essentiellement précipités entre décembre et mars, pour la station de Tuléar située à 9 m d'altitude. Celles-ci augmentent vers le Nord-Est, dès lors que l'on pénètre dans l'intérieur des terres (Battistini *et al.*, 1975) et sont favorisées par des basses pressions tropicales, des reliefs plus importants d'arrière-pays, l'instabilité des masses d'air chaudes et humides et les mouvements d'ascendance orographique (Lebigre, 1984). Les caractéristiques physiques des milieux (climat, nature des sols) influencent considérablement le type de couvert végétal. Ainsi, l'entité végétale la plus caractéristique et représentative du sud-ouest de Madagascar est la savane de type herbeuse ou arbustive (Morat, 1973). Notons que les systèmes forestiers du Sud-Ouest sont particulièrement fragilisés par la déforestation qui a quadruplé depuis la fin des années 1980 (Grouzis *et al.*, 2001).

Méthodologie

- 9 La mise en place du modèle USLE nécessite des données sur la topographie, l'occupation du sol, la climatologie et la pédologie. L'une des difficultés majeures à l'élaboration du modèle a été la collecte de données pertinentes. En effet, la région de Tuléar et d'une manière générale de Madagascar est relativement peu renseignée par la bibliographie scientifique. Les données géographiques de références sur la topographie, les précipitations, l'occupation du sol sont soit inexistantes, soit incomplètes ou obsolètes à

petite échelle et les données numériques géoréférencées sont encore plus rares. L'essentiel des connaissances de référence sur le Fiherenana et dans un cadre plus large sur le sud-ouest de Madagascar date des années 1960 (Guilcher, 1967 ; Riquier, 1968 ; Hervieu, 1975 ; Sourdat, 1977 ; Pallas, 1984 ; Battistini *et al.*, 1986 ; Vasseur, 1997) rendant difficiles leurs exploitations directes. Les documents cartographiques ont été pour la plupart réalisés à petite échelle et sans mise à jour récente. Le recours à des bases de données en ligne à l'échelle mondiale constitue dans certains cas une alternative qui est alors intéressante de tester. Un des objectifs de cette étude est donc d'évaluer le potentiel des données existantes et les démarches de production d'information numérique à y associer pour une modélisation spatialisée dans un SIG de l'érosion hydrique des sols, dans le contexte malgache actuel qui peine à changer en raison de l'instabilité politique du pays.

- 10 Selon le modèle USLE, l'érosion est une fonction multiplicative (Équation n° 1) tenant compte de l'érosivité des pluies (facteur R) par la résistance du milieu (facteurs C, K, LS, P). Chaque facteur est une estimation numérique d'une composante précise qui affecte la gravité de l'érosion du sol en un endroit donné (Omafra : <http://www.omafra.gov.on.ca/french/engineer/facts/00002.htm>). Cinq facteurs servent à calculer les pertes en sol (A) : la topographie (LS), l'agressivité des précipitations (R), l'érodibilité du sol (K), le couvert végétal (C), les pratiques antiérosives (P), dont l'équation se présente sous la forme :
- 11 $A = R * K * LS * C * P$ (Équation n° 1)
- 12 A exprimant les pertes en sol annuelles moyennes possibles à long terme (t.ha.an),
- 13 R exprimant l'indice d'érosivité des pluies (MJ.mm/ha.h.an),
- 14 K exprimant l'indice d'érodibilité des sols (t.ha.h/ha.MJ.mm)
- 15 LS exprimant le facteur de déclivité (adimensionnel),
- 16 C exprimant le facteur de végétation (adimensionnel),
- 17 P exprimant le facteur de pratique de soutien (adimensionnel).

Inventaire des données utilisées

- 18 Le jeu de données constitué pour cette étude est composé de bases de données, de cartes papier numérisées, optimisant l'information disponible.
- 19 Le facteur LS a été calculé à partir du SRTM (Shuttle Radar Topography Mission). Ces données sont disponibles sur le web (<http://srtm.csi.cgiar.org/SELECTION/inputCoord.asp>) et sont acquises par interférométrie radar en 2000, au cours d'une mission de la navette spatiale Endeavour par deux agences américaines, la NASA (*National Aeronautics and Space Administration*) et la NGA (*National Geospatial Intelligence Agency*). Elles se présentent sous forme de raster (Geo TIFF Tagged Image Files Format) renseignant pour chaque pixel de 90 mètres l'altimétrie (Z).
- 20 Pour le facteur R, les données pluviométriques sont issues de la modélisation de données mises en ligne WorldClim (<http://www.worldclim.org/current.htm>). Ce modèle climatique global est réalisé à partir de différentes bases de données compilées (FAO, WMO, CINAT, Hydronet et de bases de données secondaires locales compilées par le Global Historic Climatologic Networks). La modélisation inclut la prise en compte de l'altimétrie puisqu'elle s'appuie sur le SRTM. Le modèle consiste à l'interpolation de données climatiques mensuelles moyennes de stations météorologiques, sur une période d'au

moins 10 ans (1950-1990 ; 1950-2000). La résolution de ces données varie de 10 minutes d'arc à 30 secondes d'arc, soit 1 km.

- 21 L'occupation du sol est extraite des données de la BD au 1/ 500 000^{ième} de Madagascar. Cette dernière contient des données vectorielles sur l'occupation du sol, l'altimétrie et l'hydrologie. Cette base de données résulte de la numérisation des cartes topographiques au 1/500 000^{ième} produites dans les années 1960 par l'Institut National Géographique (IGN). Le FTM (FoibenTaosarintanin'i Madagasikara - l'Institut géographique national de Madagascar) a pour mission d'assurer la mise à jour de ces données. Cependant, aucune métadonnée ne renseigne les fichiers, sur leurs conditions de mises à jour locales (zone, date, méthodologie de production). Cette donnée de référence doit donc être considérée comme atemporelle.
- 22 La carte pédologique au 1/1 000 000^{ième} de 1957 du sud-ouest de Madagascar et la carte pédologique au 1/100 000^{ième} de Tuléar Ambohimahavelona (Sourdat, 1973) sont les seules données disponibles à l'échelle du bassin versant. Elles sont aujourd'hui archivées sous forme numérique dans la base de données SPHAERA de l'IRD (Institut de Recherche pour le Développement, http://www.cartographie.ird.fr/sphaera/tableaux/scripts/search_tbl.php?Tbl=/sphaera/tableaux/assemblage/MDG6.html&Num=2652).
- 23 Le jeu de données ainsi constitué comporte des échelles, des systèmes de localisation (Laborde Madagascar, Universal Transverse Mercator) et des formats très hétérogènes (jpg, Grid, Shape, MIF/MID, Tiff). Une longue phase de prétraitement a permis la production d'une base de données de type vectorielle et raster spatialement cohérentes exploitable sous Arcgis à l'échelle de 1/800 000^{ième}. La digitalisation, l'extraction de la zone d'intérêt, le géoréférencement et la création de tables attributaires ont constitué les principales étapes de prétraitement des données.

Méthode d'analyse et modèle de données

- 24 Le modèle USLE est basé sur une fonction linéaire faisant intervenir la combinaison spatiale des différents facteurs contribuant à l'érosion des sols : C, P, LS, R, K. Le mode image ou autrement dit raster est tout particulièrement adapté pour l'analyse multifactorielle et la représentation de données continues (Collet, 1992), telles que la nature des sols, l'occupation du sol, etc. En effet, dès lors que l'on s'intéresse à des modèles d'analyse, le mode raster est largement privilégié pour assurer des propriétés géométriques communes à toutes les couches d'informations. L'analyse spatiale et de modélisation sont facilitées par une structure simple des données et la forme régulière de la grille (Donnay et Binard, 1991). De même, le croisement des données multicouches est facilité, car toutes les grandeurs sont amenées à une même unité de base, le pixel. La combinaison des couches s'appuie sur des règles arithmétiques et des opérateurs booléens afin de produire une nouvelle valeur dans la couche composite.
- 25 En raison de l'hétérogénéité des sources d'information utilisées (Tableau 1) et de la taille du bassin versant, une maille identique de 100 m a été affectée à toutes les couches géographiques. Cette étape de rééchantillonnage permet de mettre en cohérence l'ensemble des données à la même résolution spatiale. La méthode d'interpolation sélectionnée est du « plus proche voisin » qui consiste à attribuer à chaque point cible une combinaison des valeurs des points sources les plus proches de son antécédent par la transformation inverse. Cette méthode a pour avantage de ne pas modifier les valeurs des cellules, l'erreur spatiale maximale est alors communément estimée à la moitié d'une

taille de cellule. Cette étape permet le croisement des données pixel à pixel et la superposition parfaite des couches d'informations. Le système de projection commun pour l'ensemble des données est le système WGS 84, UTM 38 Sud. La couche d'occupation du sol étant initialement dans un référentiel géographique local, le Laborde Madagascar, un changement de projection vers le WGS 84, UTM 38 Sud a été effectué à l'appui des paramètres de projection. La fiabilité du changement de projection est justifiée par la superposition « exacte » avec l'ensemble des données.

Tableau 1. Format et échelle des données

Type de données	Facteur associé	Format	Échelle/Taille du Pixel
SRTM	LS	Raster (Géo Tif)	90 m
Modélisation Worldclim	R	Raster (ESRI grids)	1 km
Carte pédologique	K	Vecteur (Shape)	1/1 000 ^{ième} 000 et 1/100 000 ^{ième}
BD-500	C	Vecteur (Shape)	1/500 000 ^{ième}

Choix des équations

Calcul de l'érosivité des pluies R

- 26 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 (Le Bissonnais *et al.*, 2002). 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. L'érosivité de la pluie est définie par l'équation :
- 27 $R = E * I_{30}$ (Équation n° 2)
- 28 Où E = l'énergie cinétique des pluies (MJ/ha)
- 29 I_{30} = l'intensité maximale des pluies en 30 minutes exprimées en mm/heure.
- 30 L'énergie cinétique des pluies est donnée par la formule suivante :
- 31 $E = 210 + 89 \log_{10} * I$ (Équation n° 3)
- 32 Où I = l'intensité de pluie.
- 33 Ces formules (Équation n° 2 et équation n° 3) proposées par Wischmeier et Smith (1978) comme indicateur d'érosivité restent difficilement applicables pour les régions où les données pluviométriques ne sont pas régulières. Il existe une seule station pluviométrique connue sur le bassin versant, celle-ci est située sur la plaine littorale à 9 mètres d'altitude (station de Tuléar). Le régime des précipitations du bassin versant du Fiherenana est de ce fait très mal renseigné. Ces données ne sont pas compatibles avec le calcul du facteur d'érosivité des pluies R en fonction de l'intensité des pluies.
- 34 De nombreuses équations permettent cependant le calcul de R en fonction des précipitations annuelles ou de l'indice de Fournier (Kalman, 1970 ; Roose, 1977 ; Arnoldus, 1980 ; Renard et Freimund, 1994). Ces équations de substitution ont été appliquées dans

différents travaux impliquant une modélisation USLE (Morschel et Fox, 2004 ; Sadiki *et al.*, 2004 ; El Gouarani *et al.*, 2008) et ont montré des résultats satisfaisants. Disposant uniquement de données de moyenne mensuelle des précipitations pour l'année 2008, sur la seule station de Tuléar, il ne fut pas possible de mettre en œuvre un indice de Fournier pour le calcul de R comme le propose certains auteurs. Auquel cas une valeur unique du facteur R aurait été généralisée à l'ensemble du bassin versant. Au vu de l'étendue de la zone d'étude et des données disponibles, l'équation de régression proposée par Renard and Freimund (Équation n° 4) a été retenue. Celle-ci est établie à partir de données provenant de 132 stations disposées sur l'ensemble des États-Unis et établit une relation statistique entre R et la hauteur de pluie annuelle moyenne P, pour des précipitations annuelles inférieures à 850 mm. L'équation est définie de la manière suivante :

35 $R = 0.0483 * P^{1.610}$ (Équation n° 4)

36 Où P = Moyenne des précipitations annuelles en mm

37 P est calculé à partir des données moyennes mensuelles des précipitations provenant de la base de données WorldClim et ont été compilées ($n + n_{+1} \dots n_{+11} / 12$), puis intégrées dans l'équation pour produire un raster dont les mailles sont renseignées par le facteur R.

Les facteurs topographiques L S

38 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, basée sur des parcelles expérimentales de 22,1 m et 9 % de pente. Elle constitue l'équation de référence (Équation n° 5), la plus usitée permettant de définir le facteur LS et se définit par :

39 $LS = (\lambda / 22,1)^m * (65,4 \sin^2 \theta + 4,56 \sin \theta + 0,065)$ (Équation n° 5)

40 Où λ = La longueur de pente en mètre,

41 θ = L'inclinaison de la pente en %,

42 m = Le facteur établi en fonction de la pente (tableau 1).

Tableau 2. Variation de m en fonction de la pente

Pourcentage de la pente (%)	Facteur m
≥ 5	0,5
$3,5 \leq \theta < 5$	0,4
$1 \leq \theta < 3,5$	0,3
< 1	0,2

43 Le calcul et la spatialisation des facteurs L et S reposent sur les données SRTM qui ont nécessité plusieurs prétraitements. Dans un premier temps, le remplissage des « cuvettes » du SRTM a été réalisé afin de supprimer les légères imperfections dans les données. Plusieurs étapes, utilisant les fonctions d'analyse spatiale en mode raster, ont par la suite été menées. La première est la création d'un raster de direction des écoulements à partir de chaque cellule vers son voisin de plus faible altitude. Cette détermination de la direction des flux du réseau hydrographique théorique permet ensuite de calculer la longueur de pente, tout d'abord pour une cellule et ensuite, pour chaque cellule. La seconde étape consiste à calculer les pentes en degrés pour chaque cellule. En fonction de la pente, la valeur de l'exposant m varie (Tableau 2). La dernière étape consiste à croiser les calculs de L et S, le résultat final est ensuite divisé par 100. Les travaux de Roose en 1994 montrent que le facteur LS varie entre 0,1 à 5 sur les pentes les plus courantes (0,1 à 15 %) d'une longueur de 60 m (en région agricole).

Calcul de l'érodibilité des sols K

44 L'érodibilité 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. Ces données pour le bassin versant du Fiherenana ont été extraites à partir des échantillons de sols décrits dans la notice de la carte de sols au 1/ 100 000^{ième}. Les pourcentages de matière organique (MO), de même que l'indice c (perméabilité du sol) et l'indice b (indice de structure du sol), n'étant pas fournis pour l'ensemble des échantillons, la méthode de Wischmeier et Smith proposée en 1978 (Équation n° 6) n'a pu être appliquée dans le cadre de cette étude.

45
$$K = 2.1 * M^{1.14} * 10^{-6} (12 - MO) + 0.0325 * (b - 2) + 0.025 * (c - 3)$$
 (Équation n° 6)

46 Où $M = (\% \text{ sable fin} + \text{ limon}) * (100 - \% \text{ argile})$

47 MO = Matière organique

48 b = Indice de structure du sol

49 c = Perméabilité du sol

50 Le facteur K a donc été calculé à l'aide du triangle de texture (Brown, 2003) et du tableau de correspondance de Stone et Hilborn permettant ainsi de déduire à partir de la texture les valeurs d'érodibilité des sols. Dans un premier temps, une typologie des sols du bassin versant a donc été effectuée. Puis les pourcentages de sable, de limon, d'argile et de matière organique ont ensuite été renseignés à partir des échantillons de la carte pédologique. Disposant d'un seul échantillon pour chaque type de sol, les valeurs ont été attribuées et généralisées aux classes de même type, sans prise en compte de la variabilité spatiale et temporelle de K (type de végétation, pente). Ces valeurs ont permis par la suite de déterminer la texture des sols, au moyen du triangle des textures de l'United States Department of Agriculture (Brown, 2003). Une fois les textures déterminées, il est possible d'établir la correspondance entre la texture standard et le facteur K (Stone et Hilborn, 2000). Ces valeurs sont données en tonne/acres (Système US), et nécessitent d'être converties dans le système international, pour ceci un facteur de 0,1317 est multiplié à chaque valeur de K (Tableau 3). Bien que cette méthodologie apporte une

approximation dans le calcul du facteur K, elle a cependant pour avantage de se prêter aux contraintes imposées par la zone d'étude.

Tableau 3. Variation de K en fonction du type de sols

Type de sols présents sur le bassin versant de Fiherenana	Texture	Facteur K (t.ha.h/ha.MJ.mm)
Lithosols	Loam	0,0395
Sols ferrugineux tropicaux	Loamy sand	0,0057
Sols faiblement ferralitiques	Clay loam	0,0395
Vertisols	Clay	0,0289
Sols d'apport à minéraux brut	Sand	0,0026
Alluvions	Clay	0,0289

Calcul du facteur d'occupation et de conservation des sols C et P

- 51 Le couvert végétal protège les sols et assure l'amortissement des gouttes de pluie, le ralentissement du ruissellement et de l'infiltration. Ainsi, pour une végétation basse, les pertes de sols diminuent avec l'augmentation du couvert végétal (Soutter *et al.*, 2007). 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 *in* El Garouani *et al.*, 2008). On confond dans le même facteur C, à la fois le couvert végétal, son niveau de production et les techniques culturales. C varie de 1 sur sol nu, soit sa valeur maximale en termes d'efficacité des processus érosifs, à 1/1000^{ième} sous forêt, 1/100^{ième} sous prairies et plantes de couverture, 1 à 9/10^{ième} sous cultures sarclées. En l'absence d'information sur le pourcentage de sols recouvert par la canopée et de la hauteur des différents types de couvert végétal, le facteur C n'a pu être calculé à partir du graphique linéaire proposé par Roose en 1994. Une typologie des différents types d'occupation du sol a donc été réalisée à partir de la BD-500. La sensibilité à l'érosion des différentes classes (Tableau 4) est par la suite déterminée à partir de données issues de travaux réalisés sur Madagascar (MAEP, 2004).

Tableau 4. Coefficient d'occupation du sol C en fonction du type d'occupation du sol

Type d'occupation du sol	Facteur C
Sol nu	1
Forêt dégradée	0,7
Savane arborée et arbustive	0,3

Savane herbeuse dégradée	0,6
Mosaïque de culture	0,5
Mangrove	0,28
Surface bâtie	0,2
Zone reboisée	0,18
Rizière	0,15
Forêt dense	0,001
Plan d'eau	0

- 52 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. En l'absence de données et en raison d'impossibilité d'effectuer une mission sur le terrain pour des raisons de crise politique à Madagascar, une valeur de « 1 » a été arbitrairement affectée au facteur P.
- 53 La modélisation est par la suite mise en œuvre par le croisement des données entre elles. La combinaison des couches s'appuie sur des règles arithmétiques et des opérateurs booléens afin de produire une nouvelle valeur dans la couche composite, ici représentative pour chaque pixel des pertes de sols (A).

Résultats et discussion

Résultats

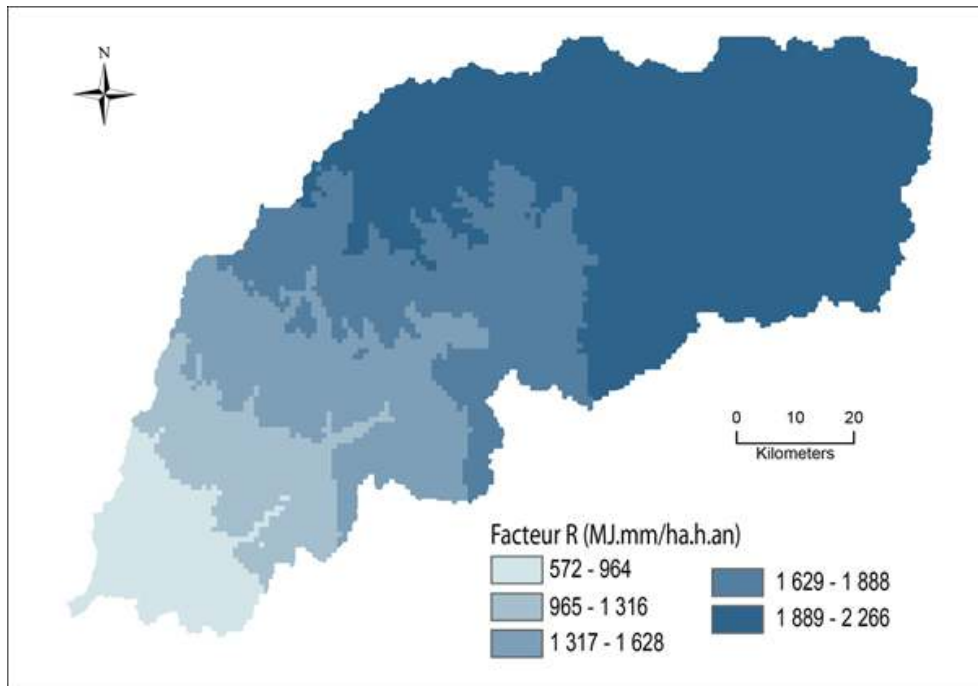
- 54 Les résultats présentés détaillent d'une part le calcul et la spatialisation des différents facteurs de l'équation USLE (R, K, LS, C, P) et d'autre part la spatialisation et l'estimation des pertes de sols potentiellement émises (A) sur le bassin du Fiherenana. Les résultats apportés dans le cadre de cette étude permettent de mettre en évidence le potentiel érosif du bassin versant du Fiherenana. Ils apportent une estimation des pertes de sols moyenne annuelle potentiellement fournie pour chaque maille de 100 m du bassin versant selon la modélisation USLE.

Calcul du facteur d'érosivité des pluies (R)

- 55 L'exploitation des données du modèle climatique mondial WorldClim dans le calcul du facteur d'érosivité des pluies R a permis d'aboutir à une évaluation globale de l'agressivité des pluies sur la zone d'étude. Les bassins versants malgaches étant peu instrumentés et pour la plupart de grande taille, ces données issues de l'interpolation de base de données climatiques (locales, mondiales) permettent d'intégrer le rôle des précipitations dans la modélisation de l'érosion des sols en l'absence de données plus précises. Suivant la distribution des précipitations en fonction de l'altitude, la carte de spatialisation du facteur R (Figure 3) montre un étagement croissant des valeurs avec la topographie. Ainsi,

l'érosivité des pluies augmente naturellement d'aval en amont du bassin versant du Fiherenana. Les valeurs de R varient entre 550 et 2260 MJ.mm/ha.h.an avec une moyenne établie à 1706 MJ.mm/ha.h.an. Pour 80 % de la surface du bassin versant du Fiherenana, les valeurs de R sont supérieures à 970 MJ.mm/ha.h.an. Les valeurs de R les plus faibles (550 à 912 MJ.mm/ha.h.an) s'établissent sur la plaine littorale où est située la ville de Tuléar, soumise à un climat semi-aride, alors que les valeurs les plus fortes (1870-2260 MJ.mm/ha.h.an) sont attribuées à la région des plateaux et à la haute vallée du Fiherenana.

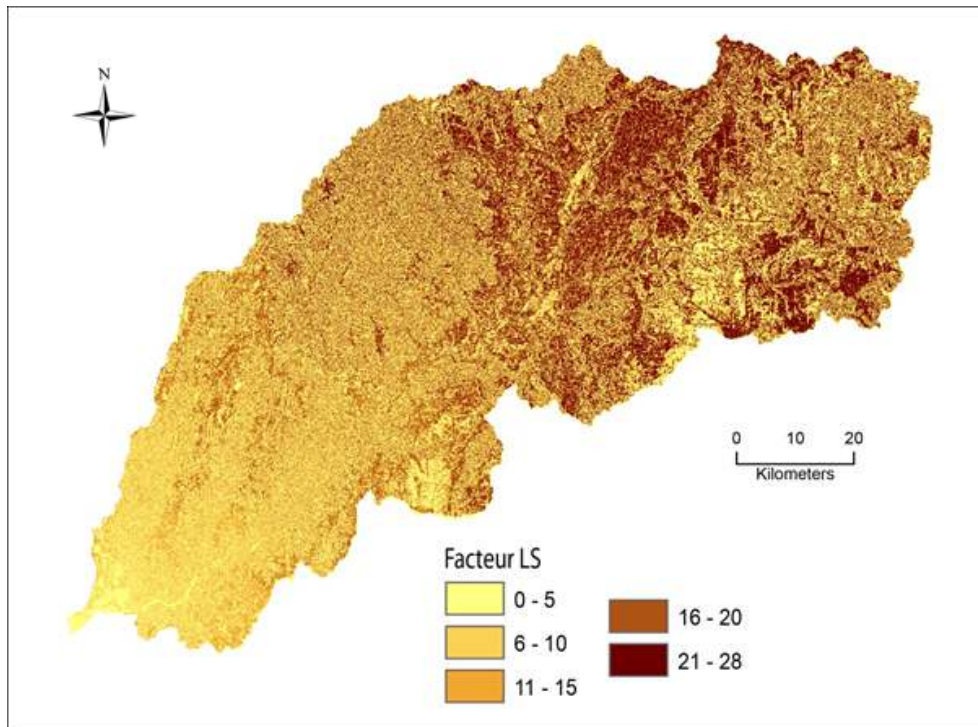
Figure 3. Facteur R / R factor



La topographie LS

- 56 facteur LS montre (Figure 4) l'importance de l'inclinaison et de la longueur de pente dans les processus de l'érosion en nappe et en rigole. La topographie relativement plane du bassin versant du Fiherenana implique tout naturellement une répartition des valeurs de LS assez faibles entre 0 et 28. Seuls 8 % des valeurs sont estimées modérées, soit supérieures à 5, et la moyenne du facteur sur l'ensemble du bassin versant est évaluée à 11,07. On constate un contraste entre les différents modelés du bassin versant, en aval les pentes faibles sont peu sensibles au processus d'érosion tandis que les reliefs escarpés en amont révèlent une sensibilité plus importante aux processus érosifs. Les valeurs les plus faibles, entre 0 et 5, du facteur topographique sont naturellement attribuées à la plaine littorale ainsi qu'au lit du cours d'eau. À l'inverse les valeurs plus élevées de LS, supérieures à 5, sont associées au massif de l'Analavelona, à la haute vallée et aux versants les plus abrupts des affluents du Fiherenana. Les valeurs du facteur LS énoncées dans le cadre de ces travaux sont cohérentes avec les valeurs d'autres études similaires (Delusca, 1998 in Dumas *et al.* 2010 ; Sadikhi *et al.*, 2004, Kouli *et al.*, 2007, Dumas *et al.*, 2010).

Figure 4. Facteur LS / LS factor



L'occupation du sol C et les pratiques antiérosives P

- 57 L'approche développée pour le calcul du facteur d'occupation du sol C propose une estimation globale de la sensibilité de la couverture des sols sur le bassin versant du Fiherenana. Au vu des données disponibles, elle constitue un moyen fiable pour la prise en compte du facteur C. La carte de répartition du facteur C (Figure 6) montre la sensibilité des différents types d'occupation du sol vis-à-vis des processus érosifs. Les zones fortement végétalisées, de type forêt d'épineux sont associées au coefficient le plus faible (0,001), et les coefficients les plus élevés (1) correspondent aux sols nus (Figure 5). Les savanes herbeuses bien souvent dégradées reposent sur des sols ferrugineux typiques du Sud et représentent le type de couvert végétal le plus sensible aux processus d'érosion. Ceci est dû à la déforestation, au surpâturage et aux feux de brousse qui tendent à substituer les formations primitives à des couverts secondaires de nature différente, tels que la savane herbeuse (Refer: <http://www.refer.mg/cop/nature/fr/reem/reem0301.htm>). Les fortes sensibilités à l'érosion sont donc associées à la présence étendue de formations végétales secondaires de type savane herbeuse dégradée et aux zones de cultures. Les sols nus correspondent au type d'occupation du sol le plus vulnérable à l'érosion. Cette classe est cependant sous-représentée sur l'ensemble du bassin versant, d'après les données de la BD-500.

Figure 5. Sols représentés sur le bassin versant / Soils in the basin

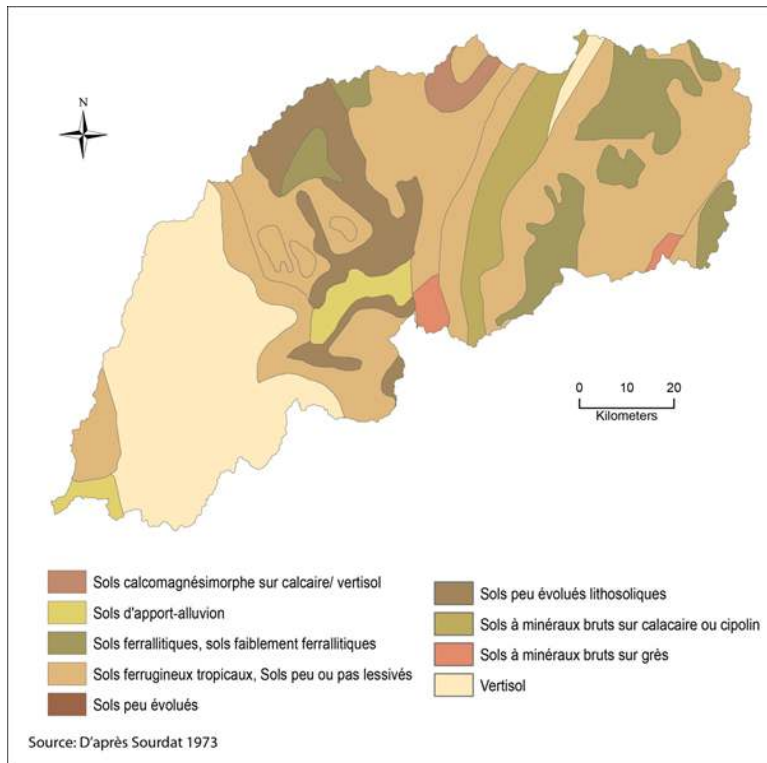
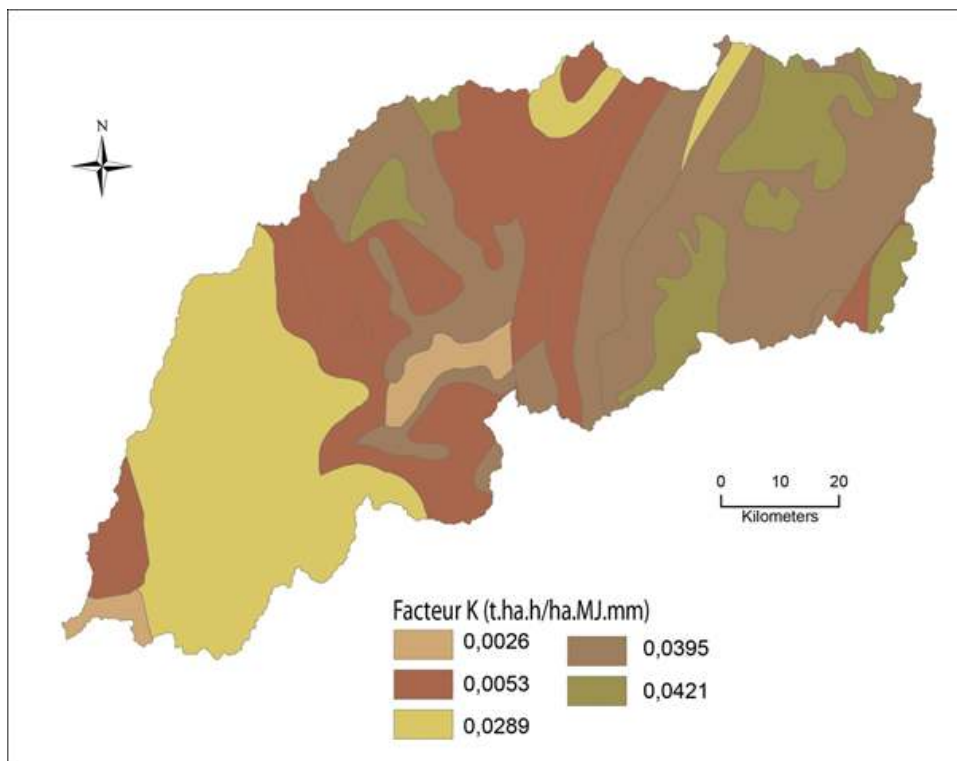


Figure 6. Facteur K / K factor



L'érodibilité des sols K

58 Dans les pays tropicaux, l'érodibilité des sols est souvent moins importante que dans certains sols des pays tempérés. Cependant, la sensibilité des sols à l'érosion varie considérablement en fonction des sols, des saisons, des années et des techniques culturales (Roose *et al.*, 1990). La correspondance entre la texture des sols et l'érodibilité des sols a permis de mettre en évidence les sols les plus érodibles du bassin versant. Le facteur K varie entre 0,0026 à 0,0421 t.ha.h/ha.MJ.mm, pour les sols les plus sensibles à l'érosion. Les sols les plus érodibles correspondent aux sols d'érosion (lithosols) sur calcaire et aux sols ferrugineux (Figure 7), ceci est confirmé dans le Tableau de bord du programme Environnemental malgache (TBE) (<http://www.pnae.mg/index.php/TBE/Voir-categorie.html>). D'après Roose (1989-1990), K augmente rapidement 6 années après le défrichement des parcelles, surtout s'il s'agit de sols ferrugineux tropicaux lessivés. La moyenne du facteur d'érodibilité des sols est de 0,025 ce qui est considéré comme des sols moyennement sensibles à l'érosion. La distribution spatiale du facteur K (Figure 8) montre que les sols les plus érodibles se situent en amont du bassin versant, soit sur le plateau intermédiaire ou dans la haute vallée du Fiherenana. Ces régions correspondent respectivement aux dômes sableux et aux tables cuirassées.

Figure 7. Occupation du sol dans les années 1990 / Land cover in 1990

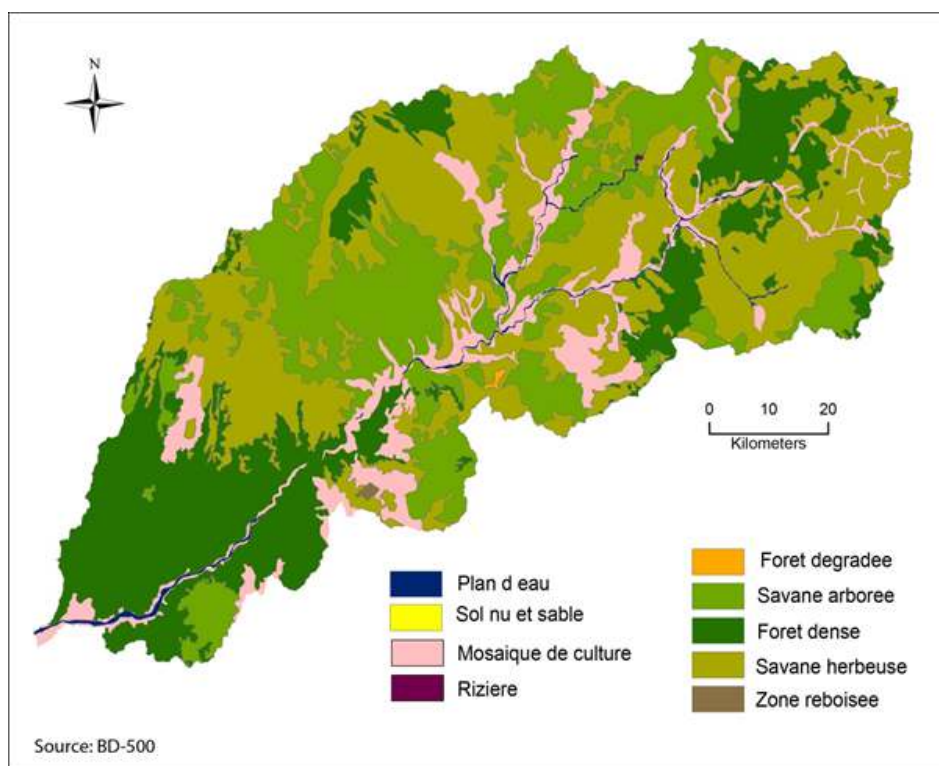
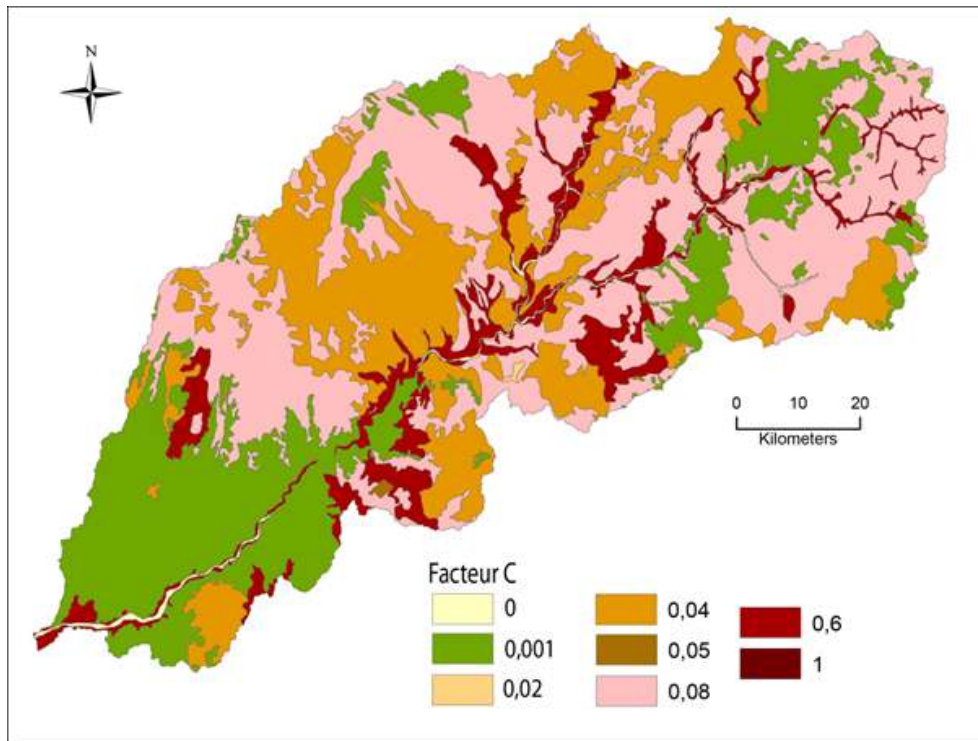


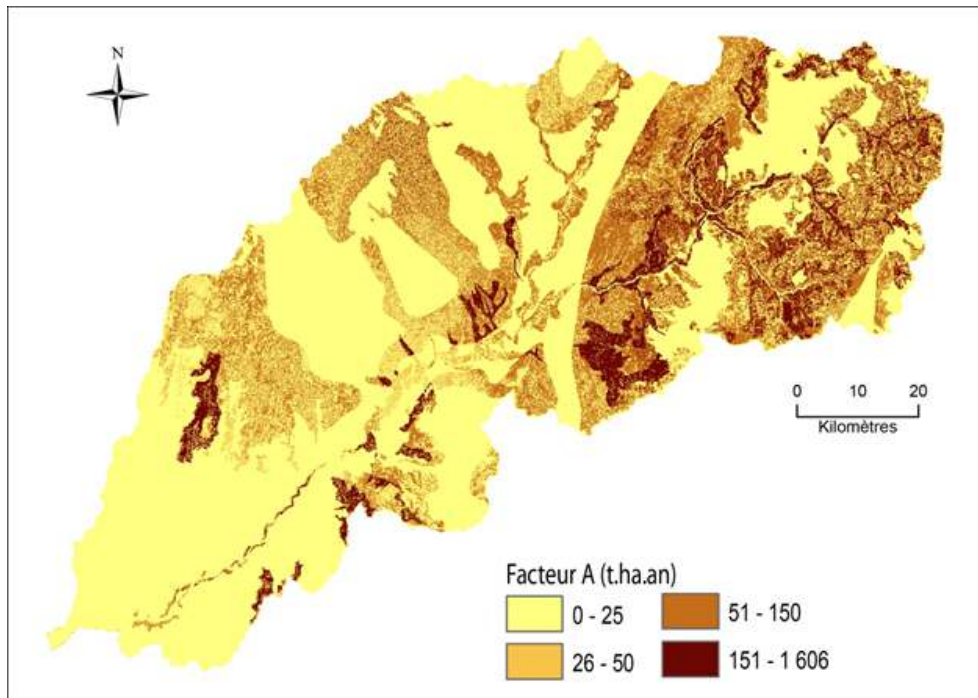
Figure 8. Facteur C / C factor



Estimation des pertes de sols

- 59 Le Grand Récif de Tuléar est un exemple d'écosystème littoral situé dans un continuum continent/océan, où la charge sédimentaire fournie par le bassin versant du Fiherenana en saison chaude perturbe fortement les habitats côtiers (Vasseur, 1997). Les résultats apportés dans le cadre de cette étude permettent de mettre en évidence les dynamiques d'érosion en nappe sur le bassin versant du Fiherenana. Le modèle USLE apporte une estimation moyenne potentielle des pertes de sols, fournie pour chaque maille de 100 m du bassin versant. D'une manière générale, les savanes herbeuses dégradées, les sols dénudés (<http://www.bf.refer.org>), les sols fragiles (lithosols et sols ferrugineux), les reliefs escarpés et des précipitations agressives contribuent fortement à augmenter l'emprise de l'érosion hydrique. La carte (Figure 9) de perte des sols montre que les valeurs de pertes en sols varient entre 0 et 1 631 t/ha/an, selon les zones du bassin versant. La moyenne en perte de sol est évaluée à 57 t/ha/an ce qui est considéré comme élevé (Sadiki *et al.*, 2004 ; Ranivoson, 2007, FAO : <http://www.fao.org/docrep/t1765f/t1765f03.htm>).

Figure 9. Estimation des pertes de sols/ Soil loss assessment



- 60 Les surfaces les plus sensibles représentent 853 km² et peuvent délivrer jusqu'à 1 631 t/ha/an de matériaux. À l'échelle du bassin versant, 36 millions de tonnes de matériaux peuvent être potentiellement arrachées et sont donc susceptibles de contribuer aux dynamiques littorales actuelles, au cours d'une année. En effet, le modèle ne tient pas compte des processus de transport/sédimentation des matériaux, majoritairement dépendant de la compétence des cours d'eau. Cette estimation ne donne donc en aucun cas une prédiction des apports vers le littoral, mais renseigne sur la quantité de matériaux potentiellement fournis par le bassin versant et révèle donc son altération actuelle. Par ailleurs, cette dynamique est confirmée par les travaux de Salomon (2009), qui montrent la tendance à l'accrétion des littoraux de la façade ouest de Madagascar, situés dans la continuité de l'embouchure de certains fleuves.
- 61 La distribution statistique montre que 61 % de la superficie du bassin versant du Fiherenana révèle une sensibilité faible à modérée à l'érosion (Tableau 5) tandis que 12 % une sensibilité très élevée (supérieure à 150 t/ha/an).

Tableau 5. Sensibilité des surfaces à l'érosion (km²)

Surface totale	Faible à modéré	Moyen	Elevé	Très élevé
7 700	4847	645	1521	631
100 %	61 %	10 %	17 %	12 %

- 62 En outre, les pertes de sols moins importantes sont associées au couvert dense tel que les forêts sèches du parc national de Zombitse Vohibasia à l'inverse les valeurs plus élevées sont assignées aux sols nus ou sous couvert dégradé. Dans le sud-ouest de Madagascar,

ceci est particulièrement vrai, du fait de la généralisation de la dégradation des écosystèmes forestiers, favorisée par la déforestation et la difficulté de régénération de la végétation imputée aux conditions climatiques sévères (Sourdat, 1977). Il faut ajouter à cela la pression anthropique croissante sur les écosystèmes induite par les migrations autour de la ville de Tuléar (Moizo, 2003).

Discussion

- 63 La mise en œuvre du modèle USLE apporte une information intéressante sur les processus en cours sur le bassin versant sur Fiherenana. Il convient cependant de discuter les résultats annoncés dans cette étude au vu de l'échelle d'analyse, des données utilisées et du choix des équations.
- 64 Les données utilisées dans le cadre de cette étude sont issues de bases de données globale ou régionale (WorldClim, BD-500, SRTM) ou produites à partir d'anciennes cartes (carte pédologique). L'échelle de production des facteurs de l'équation est donc différente, par ailleurs une maille de 100 m a été choisie et la modélisation proposée est valable à l'échelle 1/800 000^{ième} (par rapport au document à la plus grande échelle). L'échelle d'analyse qui est ici celle d'un bassin versant de plusieurs milliers de km² ne correspond pas à celle de la modélisation initiale proposée par Wischmeier et Smith (1978) qui porte sur de petites parcelles (100 m²) ou de petits bassins versants de quelques hectares (Wischmeier et Smith 1978 ; Roose et De Noni, 1998). Cependant, dans ce contexte comme dans celui de notre zone d'étude, les pentes sont inférieures à 25 % et ce sont les processus d'érosion en nappe qui dominent. Au-delà de cette valeur, le ruissellement et l'érosion linéaire agissent principalement. Les formes d'érosion de masse ou linéaire, tels que les sakasakas, formes typiques d'érosion à Madagascar ne sont ici pas prises en compte par le modèle (Roose, 1994). Celles-ci sont cependant peu représentées sur le bassin versant du Fiherenana où la dégradation du sol se fait sur l'ensemble de sa surface sur la plupart des modelés ; on constate une répartition des éléments les plus fins sur les plateaux et des matériaux grossiers et caillouteux sur les pentes.
- 65 Certaines données, telles que la pédologie et l'occupation du sol ne sont plus représentatives des conditions actuelles. Les cartes pédologiques datent des années 1960 et méritent d'être mises à jour. En effet, en contexte tropical et sous l'impulsion de la déforestation, l'occupation du sol et les états de surfaces du sol ont pu être modifiés. En ce sens, la structure et la perméabilité représentent donc des paramètres qui ont pu changer dans le temps. On considère en effet qu'en fonction de la brutalité/rapidité et du type de défrichage (manuel/mécanisé), les propriétés chimiques et physiques du sol pour les horizons superficiels sont modifiées. Une fois les sols dénudés, la modification de ces sols est favorisée par l'agressivité du climat, la fragilité des sols et la minéralisation rapide des matières organiques ; l'ensemble de ces processus en action entraîne alors l'accélération des pertes de sols. On estime que le rythme de la dégradation des sols est plus rapide lors des premières années suivant le défrichage, puis qu'il se ralentit pour atteindre un nouvel équilibre au bout de 5 à 15 ans, en fonction du système de production. En parallèle, les phénomènes d'érosion augmentent une fois les sols dénudés et croissent en cas de cultures discontinues les années suivantes (Roose, 1985). Il serait donc intéressant de disposer de données mises à jour sur la granulométrie en fonction des différents types d'occupation du sol. En ce qui concerne les données d'occupation du sol, au vu de la dynamique importante de déforestation (Tableau 6), celles-ci ne semblent plus être représentatives des conditions actuelles. De plus, aucune métadonnée ne renseigne sur leurs conditions de mise à jour rendant ainsi difficile l'interprétation de ces données. Au

regard des images satellites de la zone (Figure 10), acquises via le programme ISIS du CNES, les savanes herbeuses semblent être sous-estimées et les surfaces forestières sont en régression, ceci atteste de la nécessité d'une mise à jour de ces documents. L'estimation des pertes de sols donnée dans le cadre de cet article serait donc représentative de la situation sur le bassin versant du Fiherenana pour les années 1990.

Tableau 6. Surface forestière dans la région d'Atsimo-Andrefana entre 1990 et 2005 (source : Ministère de l'Environnement et des Forêts)

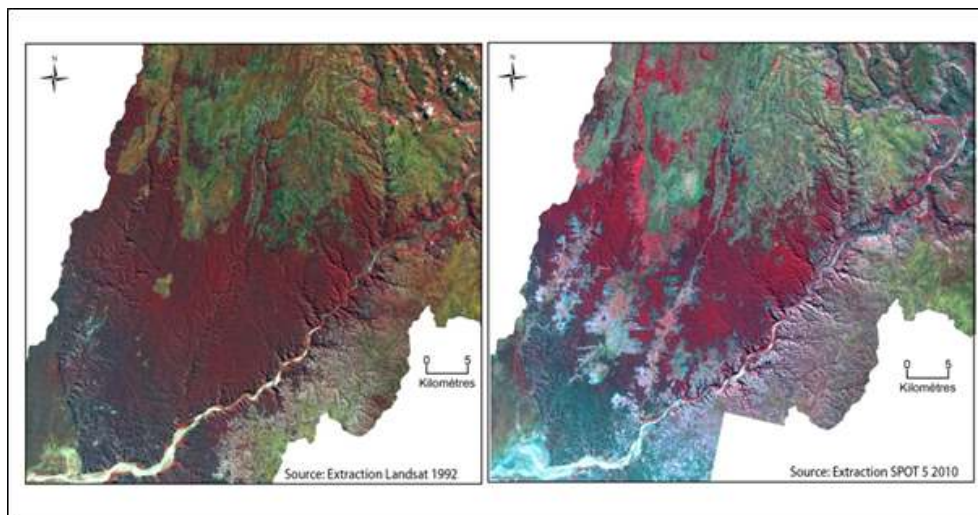
Surface totale de la région (ha)	Surface forestière en 1990 (ha)	Surface forestière en 2000 (ha)	Surface forestière en 2005 (ha)
6 672 411	2 034 131	1 790 209	1 702 795

- 66 Le modèle USLE a souvent été utilisé hors de son contexte d'application, pour ceci des équations dérivées permettent de le déployer dans des régions climatiques et géologiques différentes. Aujourd'hui, beaucoup d'équations existent dans la littérature afin d'adapter la modélisation USLE aux pays peu renseignés et dont les données sont peu disponibles ou inexistantes tels que les pays en voie de développement ou encore les pays tropicaux. Dans ces milieux, le besoin d'information sur les processus érosifs à échelle régionale est important au vu de la dégradation actuelle sur les bassins versants. En effet, les dynamiques de changement d'occupation du sol et des états de surfaces y sont souvent rapides, sous l'effet de la déforestation pour le commerce du bois, l'alimentation des villes, les besoins de l'agriculture sur brûlis, etc. L'application de ces équations à une zone d'étude donnée est souvent à l'origine de biais ou d'erreurs dans l'évaluation des facteurs de l'équation et donc dans celle des pertes de sol.
- 67 Pour le calcul du facteur LS l'utilisation de l'équation de Wischmeier et Smith (1978), équation de référence, a été utilisée. Celle-ci montre des résultats satisfaisants par rapport à la topographie réelle du bassin versant, dont la pente est en moyenne inférieure à 7 % et la longueur de pente maximale estimée à 230 m (selon les calculs réalisés à l'aide du SRTM). Tous les traitements permettant d'aboutir au calcul du facteur LS ont été réalisés à partir du SRTM à 90 m de résolution spatiale, ceci pose alors la question de la précision de la donnée produite en sortie. Selon les travaux de Datta en 2010, le facteur LS calculé à partir du SRTM à 90 m montre une surestimation des valeurs : les longueurs de pentes calculées à partir de MNT (ASTER/SRTM) sont plus importantes, que celles mesurées sur le terrain. Ceci est imputé au lissage des surfaces et à la disparition des microreliefs. En outre, la longueur de pente est rarement supérieure à 300 m dans la réalité (Mc cool in Datta, 2010). En ce qui concerne l'estimation des pentes à partir de MNT, une tendance à la disparition des pentes les plus importantes est observée avec l'augmentation de la résolution. L'usage du SRTM montre une surestimation des pentes pour les zones aux reliefs peu accentués et une sous-estimation de celles-ci en région montagneuse (Guth, 2010). Les données SRTM produisent donc des pentes de déclivité moins importantes que celles mesurées sur le terrain. Les valeurs extrêmes minimales et maximales sont également plus importantes que celles observées en réalité. Ainsi l'étendue des valeurs des pentes s'étale entre 6 % et 41 % pour les données acquises sur le terrain et varie entre 0,32 % et 45 % pour les données SRTM dans l'Himalaya (Datta, 2010). Cependant, selon différents travaux (Guth, 2010 ; Datta, 2010), le SRTM apporte une

description plus fidèle de la topographie par rapport à d'autres types de données telles que les données ASTER DEM à 30 m de résolution. En effet, ces données à plus haute résolution spatiale sont produites à partir d'images optiques par stéréoscopie (De Vente *et al.* 2009 ; Kunta, 2009) et offrent une représentation moins réaliste de la topographie. Les calculs de pentes qui en découlent montrent une tendance à la surestimation des zones planes à modérément planes.

- 68 Le facteur R a été calculé à partir de l'équation de régression proposée par Renard and Freimund (1994). Cette régression établit une relation entre la moyenne annuelle des précipitations et l'érosivité des pluies, l'erreur estimée pour le calcul du facteur R est de 10 à 15 % (Renard and Freimund, 1994). Elle est valable pour les régions dont les précipitations sont inférieures à 850 mm. L'équation a été mise en œuvre à partir de nombreuses données provenant de différentes stations sur l'ensemble des États-Unis et permet donc de prendre en compte la variabilité des précipitations. Cette équation montre des résultats concluants par rapport aux données mesurées *in situ* à Madagascar (Van Hulst, 2011).
- 69 Le calcul du facteur K a été produit à l'aide du triangle des textures et du tableau de correspondance développé par Stone et Hilborn (2000). Cette approche permet d'estimer l'érodibilité des sols en fonction de leurs textures. Ces valeurs données par Stone et Hilborn varient en fonction du pourcentage de matière organique, une valeur moyenne indépendante de ce pourcentage est également disponible. Les valeurs de K attribuées aux sols du bassin versant ne sont pas spécifiques au milieu, mais correspondent à la moyenne établie par Stone et Hilborn en fonction de la texture des sols. Ce choix découle de l'absence de renseignements du pourcentage de matière organique pour l'ensemble des classes de sols du bassin versant. En outre, le facteur varie également dans le temps et dans l'espace en fonction des propriétés dynamiques du sol, de la pente et des techniques culturales (Roose et Sarrailh, 1990). Dans le cadre de cet article, les valeurs de K ont été attribuées sans tenir compte de la variabilité de l'érodibilité des sols en fonction de la pente et de l'occupation du sol et de son état de surface. Ce dernier paramètre tend à être pris en compte dans la modélisation USLE au travers le facteur C et P. En effet, hormis les propriétés intrinsèques des sols les paramètres tels que la végétation et la pente contribuent à modifier considérablement l'érodibilité des sols. La végétation protège les sols de par son rôle de protection contre les agents érosifs, de fixation des sols et de piégeage de sédiments. Elle contribue également à améliorer l'infiltration des eaux pluviales et favorise un microclimat moins contrasté sous les plantes en raison de l'ombre. Ces conditions génèrent alors une faune et une flore plus actives et modifient les propriétés des sols (Rey et Berger, 2002). De même, la sensibilité à l'érosion d'un sol caillouteux est plus faible que celle d'un sol composé de matériaux fins ou sableux (Roose et Sarrailh, 1990). La pente conditionne également la propriété et la structure des sols. En effet, les sols au sommet et au bas des versants sont souvent interdépendants et les variations de modèles accompagnent donc souvent des variations de propriétés structurales des sols. Ainsi sur terrains plats, les sols sont souvent plus épais que sur les terrains pentus où les sols seront en général plus minces, ceci est expliqué par l'entraînement des produits de l'altération de l'humification ou de la minéralisation (Duchaufour, 2001). Sur les pentes, les sols sont alors peu évolués et rajeunis.

Figure 10. Composition colorée révélant l'évolution de la couverture forestière (en rouge) entre 1992 et 2010/ Color composite image showing the evolution of forest (in red) between 1992 and 2010



- 70 Malgré les réserves émises sur la mise en œuvre du modèle USLE hors de son cadre d'origine d'application, diverses études (s'appuyant sur les modèles USLE et adaptées aux zones d'études par des sous équations différentes) menées à des échelles régionales sur de grandes étendues (Mati *et al.*, 2000 ; Van Der Knijff J.M *et al.*, 2000 ; Dabral *et al.*, 2010 ; Dumas et Fossey, 2009 ; Dumas *et al.*, 2010 ; Dumas et Printemps, 2010) ont apporté des résultats concluants.

Conclusion

- 71 L'objectif de cette étude était de montrer l'application d'un modèle largement diffusé le modèle USLE, à un contexte particulier, afin de mettre en lumière les dynamiques et les dégradations à l'échelle du bassin versant. Ainsi, une modélisation de l'érosion hydrique des sols à l'échelle du bassin versant a été mise en œuvre afin d'évaluer la contribution des bassins versants dans les processus d'engraissement des littoraux récifaux de Madagascar. La thématique de l'érosion des bassins versants des pays du Sud soulève un certain nombre de facteurs à prendre en compte pour la faisabilité et l'aboutissement de l'étude. Le premier concerne l'exploration des données disponibles et leurs conditions d'usage (Elbouqdaoui *et al.*, 2005). Pour ces raisons, de nombreux modèles dérivés du modèle USLE ont été mis en œuvre et permettent d'adapter le calcul des facteurs aux données. Ainsi malgré l'hétérogénéité des données, une modélisation de l'érosion des sols a pu être menée à l'échelle du bassin versant sur le Fiherenana. Ces premières données permettent de mettre en évidence les zones les plus sensibles à l'érosion, il est donc possible d'établir à partir de celles-ci des mesures de gestion pour les zones les plus fragiles menacées par l'érosion. En perspective, il serait possible d'envisager un suivi des dynamiques d'occupation du sol, et d'apporter une meilleure description des facteurs C, K et LS afin d'affiner l'estimation des pertes de sols. Dans ce contexte, une des études que nous menons actuellement vise à mettre à jour les données d'occupation du sol via l'imagerie satellitaire et plus précisément des données SPOT 5, acquises dans le cadre d'une programmation ISIS avec le CNES ou encore acquises en pied d'antenne à La

Réunion par l'intermédiaire de la station de Surveillance de l'Environnement Assistée par Satellite dans l'Océan Indien (SEAS OI).

BIBLIOGRAPHIE

Abbott, M.B., J.C. Bathurst, J.A. Cunge, P.E. O'Connell et J. Rasmussen, 1986, « An introduction to the European hydrological system – Système Hydrologique Européen SHE history and philosophy of a physically based, distributed modelling system », *Journal of Hydrology*, n° .87, pp. 45-59.

Arnold, J.G., J.R. Williams, R. Srinivasan, K.W. King et R.H. Gigg, 1995, *SWAT Soil and Water assessment Tool : draft user manual*, US department of Agriculture, Agriculture Service, Temple, TX.

Arnoldus, H.M.J., 1980, « An approximation of the rainfall factor in the USLE », *Assessment of Erosion*, Wiley, Chichester, England, pp. 127-132.

Bathurst, J.C. et P.E.O'Connell, 1992, « Future of distributed modelling : The System Hydrologique Europeen », *Hydrological Processes*, Chichester, n° .6, pp. 265-277.

Battistini, R. et J.M. Hoerner, 1986, *Géographie de Madagascar*, SEDES, Paris, 187 p.

Battistini, R., C. Jouannic, L.A. Mauge, G. Casellato, et E. Vernier, 1975, « Morphologie et sédimentologie du canyon sous-marin de l'Onilahy (Sud-Ouest de Madagascar) », *Cahiers de l'ORSTOM*, vol. 7, n° .2, pp. 95-110.

Boggs, G.S., C.C. Devonport, K.G. Evans, M.J. Saynor. et D.R. Moliere, 2001, « Development of a GIS based approach to mining risk assessment », *Supervising Scientist Report*, n° .159, Environment Australia, Darwin, 49 p.

Brown, R.B., 2003, *Soil Texture*, Soil and Water Science Department, Florida Cooperative Extension Service, Institute of Food and Agricultural Sciences, University of Florida, Fact Sheet SL29, 8 p.

Chaperon, P.J., J. Danloux et L. Ferry, 1993, *Fleuves et rivières de Madagascar*, Ed ORSTOM, 883 p.

Cohen, M. et F. Rey, 2005, « Dynamiques végétales et érosion hydrique sur les marnes dans les Alpes françaises du Sud », *Géomorphologie : relief, processus, environnement*, n° .1, pp. 31-44, [En ligne] URL : <http://geomorphologie.revues.org/223>.

Collet, C., 1992, *Systèmes d'information géographique en mode image*, Lausanne, Presses polytechniques et universitaires romandes, Col. Gérer l'environnement n° 7, 186 p.

Dabral, P.P., R.L. Murry et P. Lollen, 2001, « Erodibility status under different land uses in Dikrong river basin of Arunachal Pradesh », *Indian Journal of Soil Conservation*, vol. 29, n° 3, pp. 280-282.

Datta, P.S et H. Schack Kirchner, 2010, « Erosion Relevant Topographical Parameters Derived from Different DEMs—A Comparative Study from the Indian Lesser Himalayas », *Remote Sensing*, vol. 2, pp. 1941-1961.

Delusca, K., 1998, *Estimation de l'érosion hydrique des sols à l'aide de l'Équation Universelle de Perte de Sol, assistée d'un Système d'Information Géographique : Le cas du bassin versant de la ravine Balan, Haïti*, Thèse de maîtrise, Moncton, 110 p.

- De Vente, J., J. Poesen, G. Govers et C. Boix-Fayos, 2009, « The implications of data selection for regional erosion and sediment yield modelling », *Earth surface processes and landforms*, vol. 34, pp. 1994-2007.
- Duchaufour, P., 2001, *Introduction à la science du sol, végétation, environnement*, Dunod, 331 p.
- Donnay, J.P et M. Binard, 1991, « Spatially continuous processing within a raster based GIS : some examples of geographical models », *Bulletin de la Société belge de Géographie*, SOBEG, vol. 2, pp. 333-344.
- Dumas, P. et M. Fossey, 2009, « Mapping Potential Soil Erosion in the Pacific Islands. A case study of Efate Island (Vanuatu) », Proceedings 11th Pacific Science Inter Congress, Pacific Countries and their ocean, facing local and global changes, Tahiti French Polynesia.
- Dumas, P., J. Printemps, M. Mangeas et G. Luneau, G., 2010, « Developing Erosion Models for Integrated Coastal Zone Management. A Case Study of NewCaledonia West Coast », *Marine Pollution Bulletin*, n° .161, pp. 519-529.
- Dumas, P. et J. Printemps, 2010, « Assessment of Soil Erosion Using USLE Model and GIS for Integrated Watershed and Coastal Zone Management in the South Pacific Islands », Proceedings Interpraevent, International Symposium in Pacific Rim, Taipei, Taiwan, pp. 856-866.
- Elbouqdaoui, K., H. Ezzine, M. Badrahoui, M. Rouchdi, M. Zahraoui et M. Ozer, 2005, « Approche méthodologique par télédétection et SIG de l'évaluation du risque potentiel d'érosion hydrique des sols sur le bassin versant de l'oued Srou (Moyen-Atlas, Maroc) », *GeoEcoTrop*, n° .29, pp. 25-36.
- El Garouani, A., H. Chen, L. Lewis, A. Triback et M. Abahrour, 2008, « Cartographie de l'utilisation du sol et de l'érosion nette à partir d'images satellitaires et du SIG IDRISI au Nord-Est du Maroc », *Télédétection*, vol. 8, n° 3, p. 193-201, [En ligne] URL : http://www.teledetection.net/upload/TELEDETECTION/pdf/Vol8No3_193_201.pdf
- Fengyin, Ye, L. Sichoix, J.P. Barriot et P. Dumas, 2010, « Modeling the erosion of shield volcanoes : The Tahiti island case », Proceedings Interpraevent, International Symposium in Pacific Rim.Taipei, Taiwan, pp. 690-699.
- Guilcher, A. et R. Bastistini, 1967, *Madagascar géographie régionale*, Centre de documentation universitaire, Paris, 137 p.
- Guth, P.L., 2010, « Geomorphometric comparison of ASTER GDEM and SRTM », Symposium of ISPRS Technical Commission IV & AutoCarto, November 15-19, 2010 Orlando, Florida pp. 15-19, [En ligne] URL : <http://www.isprs.org/proceedings/XXXVIII/part4/files/Guth.pdf>.
- Grouzis, M., S. Razanaka, E.F. Le Floc'h et J.C. Leprun, 2001, « Evolution de la végétation et de quelques paramètres édaphiques au cours de la phase post-culturelle dans la région d'Analabo », 402 p, Razanaka S., Grouzis., Milleville M.P., Moizo B., Aubry C., *Sociétés paysannes, transitions agraires et dynamiques écologiques dans le Sud-Ouest de Madagascar*, CNRE/IRD, Antananarivo, pp. 327-337.
- Hervieu, J., 1975, *Evolution du milieu naturel en Afrique et à Madagascar, L'interprétation paléo climatique du quaternaire, essai de synthèse*, Initiation et documents techniques, ORSTOM, n° 26, 170 p.
- Hudson, N.W., 1973, *Soil conservation*, Batsford, London, 320 p.
- Jabbar, M.T. et X. Chen, 2005, « Soil degradation risk prediction integrating RUSLE with geoinformation techniques, the case of northern Shaanxi province in China », *American journal of applied sciences*, vol. 2, n° 2, pp. 550-556.

- Jah, M.K. et R.C. Paudel, 2010, « Erosion Predictions by Empirical Models in a Mountainous Watershed », *Journal of Spatial Hydrology*, vol. 10, n° .1, 14 p.
- Kalman, R., 1970, « Ruissellement et érosion en nappe (Expérimentation au simulateur de pluie) », *Annales de la Recherche Forestière au Maroc*, vol. 12, Rabat, pp. 177-287.
- Kouli, M., P. Soupios et F. Vallianatos, 2007, « Soil erosion prediction using the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE) in a GIS framework », Chania, Northwestern Crete, Greece, *Environmental Geology*, [En ligne] URL : <http://link.springer.com/article/10.1007/s00254-008-1318-9>.
- Kunta, K., 2009, *Effects of Geographic Information Quality on Soil Erosion Prediction*, Thesis, Institute of Geodesy and Photogrammetry Swiss Federal Institute of Technology Zurich, 155 p.
- Lebigre, J.M., 1984, « Problématique des recherches sur les marais maritimes de Madagascar en vue de leur protection et de leur aménagement », *Madagascar Revue de Géographie*, pp. 45-74.
- Lebigre, J.M., 1997, « Les marais à mangroves du Sud-Ouest de Madagascar Des palétuviers et des hommes au pays des épines », *Milieux et sociétés dans le Sud-Ouest de Madagascar*, 107 p., Lebigre J.M, CRET, coll. Iles et Archipels, n° .23, pp. 135-242.
- Le Bissonnais, Y., J. Thorette, C. Bardet et J. Daroussin, 2002, *L'érosion hydrique des sols en France*, INRA, IFEN, 106 p.
- Mati, B.M., R.P.C. Morgan, F.N. Gichuki, J.N. Quinton, T.R. Brewer et H.P. Liniger, 2000, « Assessment of erosion hazard with the USLE and GIS : A case study of the Upper EwasoNg'iro North basin of Kenya » *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* , vol. 2, n° .2, pp. 78-86.
- MAEP, 2004, *Etudes de gestion durable des sols dans le cadre du projet bassins versants périmètres irrigués. Rapport provisoire.*
- McCool, D.K., G.R. Foster, C.K. Mutchler et L.D. Meyer, 1989, « Revised slope length factor for the Universal Soil Loss Equation », *Transactions of the American Society of Agricultural Engineers*, n° 32, pp. 1571-1576.
- Moizo, B., 2003, « Perceptions et usages de la forêt en pays Bara (Madagascar) », *Bois et forêts des tropiques*, n° . 278, pp. 25-37, [En ligne] URL : http://bft.cirad.fr/cd/BFT_278_25-37.pdf.
- Morat, P., 1973, *Les savanes du Sud-Ouest de Madagascar*, Thèse de doctorat, Ed. ORSTOM, Paris, 235 p.
- Morschel, J. et D. Fox, 2004. « Une méthode de cartographie du risque érosif : application aux collines du Terrefort Lauragais », *M@ppemonde*, n° .76, 11 p, [En ligne] URL : <http://mappemonde.mgm.fr/num4/articles/art04404.pdf>
- Neistch, S.L., J.G. Arnold, J.R. Kiniry, J.R. Williams et K.W. King, 2002, « Soil and Water Assessment Tool Theoretical Documentation », Version 2000, Grassland, Soil and Water Research Laboratory, U.S. Department of Agriculture Agricultural Research Service, 808 East Blackland Road, Temple, [En ligne] URL : <http://www.brc.tamus.edu/swat>
- Pallas, A., 1984, *Etude géomorphologique de la vallée du Fiherenana*, thèse de doctorat, Université de Bordeaux, 188 p.
- Payet, E., 2009, *Modélisation de l'érosion hydrique des sols sur un bassin versant du Sud-Ouest de Madagascar : le Fiherenana*, Mémoire de master 2, Université de la Réunion/IRD, 54 p.
- Ranaivomanana, L.N.J., 2006, *Identification des conditions d'appropriation de la gestion durable des ressources naturelles et des écosystèmes : Cas du Grand Récif de Toliara*, Thèse de doctorat, Agrocampus

- Rennes/université de Toliara Institut Halieutique et des Sciences Marines, 256p, [En ligne] URL : <http://halieutique.agrocampus-ouest.fr/pdf/932.pdf>.
- Ranivoson, T.A., 2007, *Cartographie systématique du risque d'érosion selon RUSLE à Madagascar*, Mémoire de Master, Ecole Supérieure Polytechnique Départementale Hydraulique, Université de Tananarive, 125 p.
- 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.
- Rey, F., 2002, *Influence de la distribution spatiale de la végétation sur la production sédimentaire de ravines marneuses dans les Alpes du Sud*, Thèse de doctorat, Grenoble, Université Joseph Fourier / Cemagref, 183 p.
- Riquier, J., 1968, Carte pédologique de Madagascar à l'échelle 1/ 1 000 000, ORSTOM, Tananarive.
- Roose, E., 1977, « Application of the Universal Soil Loss Equation of Wischmeier and Smith in West Africa », *Soil Conservation Society of America*, Ankeny, Iowa, pp. 50-71, [En ligne] URL : http://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins_textes/pleins_textes_5/b_fdi_08-09/09135.pdf
- Roose, E., 1985, « Impact du défrichement sur la dégradation des sols tropicaux », *Machinisme Agricole Tropical*, n° 98, 14 p.
- 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.
- 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, E. et G. De Noni, 1998, « Apport de la recherche à la lutte antiérosive Bilan mitigé et nouvelle approche », *Étude et Gestion des Sols*, vol. 5, n° .3, pp. 181-194.
- Sadiki, A., S. Bouhlassa, Saïdati., J. Auajjar, A. Faleh, et J.J. Macaire, 2004, « Utilisation d'un SIG pour l'évaluation et la cartographie des risques d'érosion par l'Equation universelle des pertes en sol dans le Rif oriental (Maroc) : cas du bassin versant de l'oued Boussouab », *Bulletin de l'Institut Scientifique*, Rabat, section Sciences de la Terre, n° .26, pp. 69-79.
- Salomon, J.N., 2009, « L'accrétion littorale sur la côte Ouest de Madagascar », *PhysioGéo*, vol. 3, pp. 35-59.
- Sourdat, M., 1973, Carte et notice de Tuléar Ambohimahavrlona au 1/100 000, ar C 58, Centre O.R.S.T.O.M. Tananarive.
- Sourdat, M., 1977, *Le Sud-Ouest de Madagascar, Morphogénèse et Pédogénèse*, Thèse de Docteur ingénieur Dijon, ORSTOM, n° .70, Paris, 282 p.
- Soutter, M., A. Mermoud et A. Musy, 2007, *Ingénierie des eaux et du sol Processus et aménagements*, Presse polytechniques et universitaires romandes, 316 p.
- Stone, R.P. et D. Hillborn, 2000, Universal Soil Loss Equation, Ontario, Canada, Ontario Ministry of Agriculture and Food (OMAFRA), [En ligne] URL : <http://www.giser.be/wp-content/uploads/2012/05/USLE-infosCanada.pdf>.
- Van der Knijff, J.M., R.J.A. Jones. et L. Montanarella, 2000, Soil erosion risk assessment in Italy, European Commission, Erosion Soil Bureau, 52 p.
- Van Hulst, F., 2011, *Soil erosion using RUSLE for rain fed crops under Conservation Agriculture practices in the lake Alaotra region in Madagascar*, master thesis, Wageningen university, 55 p.

Vasseur, P., 1997, « Ecosystèmes côtiers en danger dans la région de Tuléar, Analyse des agressions humaines et de problèmes de gestion », *Milieux et sociétés dans le Sud-Ouest de Madagascar*, 107 p., Lebigre J.M, CRET, coll. Iles et Archipels, n° .23, pp. 97-120.

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..

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

RÉSUMÉS

À l'échelle de la planète, 70 % des littoraux sont en position de recul. À l'inverse, sur certains littoraux de la façade ouest de Madagascar, à l'embouchure des fleuves, les processus d'accrétion l'emportent sur les processus de recul. Ainsi, depuis les années 80, le complexe récifal de Tuléar est considéré comme dégradé. Cette dégradation serait principalement induite par l'asphyxie de la structure récifale par les matériaux d'origine terrigène apportés par le fleuve du Fiherenana, qui draine un bassin de 7 700 km². Afin de mettre en lumière les processus d'érosion en cours sur le bassin versant du Fiherenana, une étude basée sur la modélisation de l'érosion hydrique des sols est proposée dans le cadre de cet article. Le modèle USLE (Universal Soil Loss Equation) a été choisi afin de quantifier et de spatialiser les processus d'érosion hydrique à l'échelle du bassin versant. Ces modèles d'ores et déjà mis en œuvre dans différents milieux et à différentes échelles prennent en compte cinq paramètres déterminants dans les processus d'érosion, dont : l'agressivité des précipitations, l'érodibilité des sols, l'inclinaison et la longueur de la pente ainsi que le couvert végétal et les moyens mis en place pour lutter contre l'érosion des sols. Cette étude s'inscrit dans une démarche de Gestion Intégrée de la Zone Côtière. Elle constitue une première approche dans l'identification des processus d'altération des bassins versants de l'Ouest malgache et aide à la compréhension des dynamiques actuelles des bassins versants littoraux.

Worldwide, 70 % of coastal areas are undergoing shore line recession. Madagascar's western coast is in sharp contrast, since accretion there is more pronounced than coastal recession process. One of the causes of coastal accretion is continental sediments, raising the problem of erosion on watersheds. Since the 1980's, the Reef Complex of Toliara has been considered to be markedly degraded, due to the coral smothering of its structure by terrigenous materials originating from the Fiherenana river. In considering the problem of erosion process on the Fiherenana drainage basin, an approach based on computer modeling is proposed in this article, using the USLE model (Universal Soil Loss Equation), a model derived from the Universal Soil Loss Equation - USLE. This model is one of the most commonly applied for assessing sheet and rill erosion. USLE is widely used on various areas and at different scales. It takes into account four determining factors, such as soil erodibility, rainfall, slope length and steepness, land cover and conservation practice factor. This study is in line with the practice of Integrated Coastal Zone Management and aims at providing knowledge on erosion potential on the Fiherenana catchment, with a view to assessing its contribution to the dynamics of coastal sedimentation.

INDEX

Mots-clés : gestion intégrée littoral/bassins versants, érosion des sols, USLE, Madagascar, région de Tuléar

Keywords : integrated coast, catchment management, soil erosion, Toliara region

Index géographique : Afrique

AUTEURS

EVELYNE PAYET

UMR ESPACE-DEV, Centre IRD de La Réunion, BP 50172, 97492 Sainte-Clotilde Cedex, Contact : evelyne.payet@ird.fr,

PASCAL DUMAS

Equipe EA 4242 Centre des Nouvelles Études sur le Pacifique (CNEP), Université de la Nouvelle-Calédonie BPR4 98851, Nouméa Cedex, Nouvelle-Calédonie, UMR 228 ESPACE-DEV Centre IRD de Nouméa, BPA5 98848 Nouméa Cedex, Nouvelle-Calédonie. Contact : pascal.dumas@univ-nc.nc

GWENAËLLE PENNOBER

UMR ESPACE-DEV, Centre IRD de La Réunion, BP 50172, 97492 Sainte-Clotilde Cedex, courriel : gwenaelle.pennober@univ-reunion.fr