Les Cahiers d'Outre-Mer

Revue de géographie de Bordeaux

**252 | Octobre-Décembre 2010
Nouvelle-Calédonie**

Méthodologie de cartographie de la sensibilité des sols à l'érosion appliquée à la région de Dumbéa à Païta - Bouloupari (Nouvelle-Calédonie)

Pascal Dumas

Édition électronique

URL : <http://journals.openedition.org/com/6123>

DOI : 10.4000/com.6123

ISSN : 1961-8603

Éditeur

Presses universitaires de Bordeaux

Édition imprimée

Date de publication : 1 octobre 2010

Pagination : 567-584

ISBN : 978-2-86781-665-9

ISSN : 0373-5834

Référence électronique

Pascal Dumas, « Méthodologie de cartographie de la sensibilité des sols à l'érosion appliquée à la région de Dumbéa à Païta - Bouloupari (Nouvelle-Calédonie) », *Les Cahiers d'Outre-Mer* [En ligne], 252 | Octobre-Décembre 2010, mis en ligne le 01 octobre 2013, consulté le 19 avril 2019. URL : <http://journals.openedition.org/com/6123> ; DOI : 10.4000/com.6123

Méthodologie de cartographie de la sensibilité des sols à l'érosion appliquée à la région de Dumbéa à Païta - Bouloupari (Nouvelle-Calédonie)

Pascal DUMAS¹

L'érosion mécanique des sols est une caractéristique naturelle des îles hautes tropicales soumises à de violentes pluies. Mais toute action de l'homme, qui conduit à la destruction de la couverture végétale, accentue les manifestations d'instabilités inhérentes au système naturel. Sur la Grande-Terre, île principale de l'archipel néo-calédonien, les causes majeures d'érosion résultent aussi des mauvaises pratiques agricoles, de l'urbanisation des pentes, de la construction d'infrastructures de communication ou d'aménagements hydrauliques, mais surtout de l'exploitation minière de nickel. Les activités agricoles de même que l'urbanisation qui se développe principalement sur la plaine littorale, ont un impact limité sur les phénomènes d'érosion sur l'île. Ces derniers, s'accompagnant d'importants processus de sédimentation terrigène, sont fortement accentués par l'activité minière. Ils représentent en période de crues cycloniques, la plus importante source de dégradation des écosystèmes lagunaires et des récifs frangeants. Il convient donc de s'intéresser au phénomène d'érosion. Afin de spatialiser et de quantifier l'aléa érosion en Nouvelle-Calédonie, une approche basée sur la modélisation a été choisie. La présente communication traite à ce titre principalement de la méthodologie de cartographie de la sensibilité des sols à l'érosion, envisagée du point de vue de l'émission potentielle de particules solides. Elle s'articule en trois grandes parties. La première présente succinctement le cadre géographique de l'étude ainsi que les mécanismes de l'érosion hydrique superficielle afin

1. EA 4242 Centre des Nouvelles Études du Pacifique (CNEP), US 140 ESPACE Institut de Recherche pour le Développement (IRD), Université de la Nouvelle-Calédonie, BPR4, 98851 Nouméa, Nouvelle-Calédonie, mél : dumas@univ-nc.nc ; Communication présentée au Colloque franco-chinois « *Environnement, patrimoine et développement durable* », Guiyang (Chine), 3-12 juillet 2007.

d'aborder l'élaboration des facteurs pris en compte pour la cartographie de la sensibilité des sols à l'érosion. La seconde détaille la méthodologie et les étapes d'intégration et de croisements des paramètres pris en compte tels que la topographie, la nature du sol et le couvert végétal. Les résultats, limites et perspectives sont présentés en troisième partie.

I – Terrain et objets d'étude

1 – La zone d'étude

Troisième île de l'Océanie par sa superficie, après la Papouasie - Nouvelle-Guinée et les Îles Salomon, la Nouvelle-Calédonie est située au Sud de la Mélanésie à environ 1 200 km à l'Est de l'Australie et 1 500 km au Nord-est de la Nouvelle-Zélande. D'une superficie totale de 18 575 km², l'archipel est constitué de la Grande-Terre, des quatre îles Loyauté (Lifou, Maré, Ouvéa, Tiga), de l'archipel des Belep, de l'Île des Pins et de quelques îlots lointains (fig. 1). La Grande-Terre est une bande d'environ 450 km de long sur 40 à 70 km de large, traversée du Nord au Sud par une chaîne montagneuse qui culmine à 1 628 m au Mont Panié. Cette île étroite et montagneuse est encerclée par des formations coralliennes de type barrière, longues de 1 600 km. Ce complexe récifal de très grandes dimensions, le deuxième du monde en importance, délimite un lagon de 24 000 km².

L'archipel jouit d'un climat tropical océanique et la température annuelle moyenne est de 23,5 °C. Notons que pendant la saison chaude et humide, de mi-novembre à mi-avril, se succèdent des dépressions évoluant parfois en cyclones tropicaux. La saison sèche de mi-septembre à mi-novembre est, quant à elle, marquée par de nombreux « feux de brousse » et incendies. Avec 230 000 habitants d'après le recensement de 2004 et une densité moyenne d'environ 13 habitants/km², la Nouvelle-Calédonie reste très peu peuplée. L'importance d'un domaine montagnard, difficile à aménager, explique que la plus grande partie de la population vit près des côtes et que moins de 3 % de celle-ci vit au-dessus de 100 m d'altitude (Dumas, Fotsing et David, 2004). Au niveau économique, l'exploitation minière de nickel est la première activité exportatrice du pays. Elle est aussi, après le feu, la deuxième cause de dégradation de l'environnement. Troisième producteur mondial de nickel (en tonnage de métal contenu), le « Caillou »² possède environ un quart des ressources mondiales de ce minerai, qui se répartissent dans le sous-sol de l'île pour 30 % en minerais saprolitiques et 70 % en minerais latéritiques. Depuis

2. L'île est surnommée « le Caillou » pour ses importantes ressources de nickel.

les débuts de l'exploitation du minerai (commencée vers 1874) à aujourd'hui, ce sont plus de 160 millions de tonnes de minerai qui ont été extraites, soit plus de 300 millions de mètres cube de stériles latéritiques qui ont été remaniés (Lagannier, 1994).

Figure 1 – Situation géographique du terrain d'étude

La zone pilote de notre étude est remarquable par son caractère représentatif du territoire de la Nouvelle-Calédonie. Située au sud de la côte Ouest de l'île principale, elle est délimitée par l'ensemble des bassins versants des communes de Dumbéa, Païta et Bouloupari, couvrant une superficie de 1 750 km². Du point de vue topographique, cette région est caractérisée par une dichotomie entre une vaste zone de plaine et une chaîne montagneuse, culminant à 1 600 m d'altitude. Grâce à leur proximité de la capitale, Nouméa, ces trois communes connaissent une croissance démographique importante, avec 30 000 habitants qui se concentrent autour des chefs-lieux. Cependant, cette région présente tout de même une faible densité de population (17,3 habitants/km²). Ces communes constituent une zone de travail intéressante du point de vue de la diversité des pressions naturelles et anthropiques exercées sur le milieu. Ainsi, outre être touchée par le phénomène de la périurbanisation, cette région connaît un développement des activités les plus repré-

sentatives des modes d'occupation du système littoral terrestre (aquaculture, élevage, agriculture) plus important que dans le reste du pays. L'aquaculture, avec 6 fermes et plus de 150 ha de bassins d'élevage, est très développée. Il en est de même pour l'élevage dans cette zone qui rassemble notamment 1/5 du cheptel bovin, 40 % des porcins, 1/3 des cervidés et la moitié de la production avicole de Nouvelle-Calédonie. L'agriculture y est aussi prépondérante avec notamment 1/3 du tonnage d'engrais utilisé dans le pays (Dumas, 2004). Sur le massif, appelé communément Chaîne centrale, l'activité minière est largement présente avec l'exploitation actuelle du nickel à ciel ouvert sur les massifs de la Tontouta et du Kongouhaou, mais aussi avec les nombreuses mines orphelines témoignant de l'exploitation passée. L'ensemble de ces activités joue un rôle dans les processus érosifs. Le terrain d'étude étant présenté, il s'agit maintenant de rappeler brièvement les mécanismes de l'érosion hydrique superficielle afin d'identifier les paramètres indispensables à la modélisation de la sensibilité des sols à l'érosion.

2 – Les mécanismes de l'érosion hydrique superficielle

L'érosion représente l'ensemble des phénomènes externes à la surface du sol ou en profondeur qui arrache, tout ou en partie, les terrains modifiant ainsi le relief. L'érosion hydrique des sols consiste en un détachement et un transport des particules du sol sous l'action mécanique en général combinée de la pluie et du ruissellement. Celle-ci se développe lorsque les pluies, ne pouvant plus s'infiltrer dans le sol, ruissellent en surface en emportant les particules de terre. La taille et l'impact des gouttes sont des facteurs importants dans ce processus de destruction et d'arrachement (phénomène d'éclaboussement). L'énergie cinétique des gouttes qui tombent est très élevée dans les régions humides. En effet, le pouvoir érosif des pluies tropicales³ peut être de 2 à 6 fois plus important que dans les zones tempérées (Thomas, 1994). Les particules de sol très fines qui sont détachées de la surface par l'impact des gouttes peuvent obstruer les pores de la couche supérieure du sol et réduire considérablement le taux d'infiltration (phénomène de battance) augmentant alors les risques d'ablation du sol et de ruissellement en surface. Lorsque celui-ci se concentre, des griffures, rigoles et ravines apparaissent. Il s'agit de formes d'érosion liées aux processus de formation du ruissellement, de détachement et de transport des matériaux vers l'aval, se combinant dans le temps et dans l'espace. Bien que l'eau soit définie comme un agent morphogène moteur de l'érosion, d'autres facteurs interviennent alors dans ce processus et conditionnent son impact.

3. En Nouvelle-Calédonie, des intensités de pluie tropicale supérieures à 25 mm/h-1 sont courantes. Cette valeur est considérée comme un seuil par de nombreux auteurs pour l'arrachement des sols nus (Hudson, 1973).

Ces facteurs se regroupent en quatre domaines : la topographie, le sol, l'occupation du sol et le climat (Wischmeier et Smith, 1978 ; King et Le Bissonnais, 1992). Chacun de ces domaines se décline en plusieurs effets, chacun participant au processus. Ainsi, par exemple, le facteur topographique regroupe les effets de l'inclinaison, de la longueur et de la forme de la pente. Les précipitations en comprennent aussi plusieurs dont l'intensité de l'averse, sa durée, la grosseur des gouttes et leur vitesse de chute. La résultante de l'ensemble de ces facteurs élémentaires caractérise les processus érosifs, les rendant de ce fait très complexes à modéliser. Ces trois facteurs se distinguent par leur origine naturelle ou anthropique et peuvent donc se classer en deux catégories.

a – Les facteurs d'ordre naturel : la topographie et la nature du substrat

La pente influence grandement l'importance de l'érosion par son action gravitaire et fournit son énergie érosive à l'eau. Ainsi l'action de l'érosion augmente fortement avec la pente, car le détachement des particules est lié au carré de la vitesse de l'eau. L'inclinaison de la pente agit directement sur la vitesse de ruissellement. Lorsque celle-ci croît, l'énergie cinétique du ruissellement augmente et accélère le transport solide vers le bas, en augmentant l'impact de l'ablation des matériaux détritiques. Les pertes en matériaux terrigènes croissent donc de manière exponentielle avec l'inclinaison de la pente (Hudson, 1973 ; Roose, 1977 ; Wischmeier et Smith, 1978). Le facteur « longueur de pente » contribue également sur le volume ruisselé (Collinet et Valentin, 1979 ; Le Bissonnais, 1988) mais son influence n'est ni constante, ni très élevée, de même que sa forme ou courbure (convexe, concave, homogène ou gauchie) qui intervient dans le phénomène érosif (Wischmeier, 1974 ; Maurizot et Delfau, 1995). La pente participe ainsi aux phénomènes d'érosion du fait de sa forme, de son inclinaison et de sa longueur. Dans le cadre de ce travail, nous retiendrons uniquement l'inclinaison de la pente, par le biais de sa prépondérance dans le paramètre topographique.

La nature du sol et du sous-sol est aussi un facteur prépondérant. Sa participation au phénomène d'érosion est fonction de sa perméabilité et de l'aptitude au détachement et au transport de ses particules. Chaque type de sol va réagir différemment à l'attaque de la pluie et au cisaillement du ruissellement selon sa texture, sa structure, sa porosité et son taux de matières organiques.

b – Un paramètre d'ordre anthropique : l'occupation du sol

Le processus d'érosion est étroitement lié au mode d'occupation du sol, qui contribue largement à son aggravation ou à son atténuation. L'occupation du sol détermine le degré de protection des sols. L'influence du couvert végétal sur l'érosion linéaire est ainsi très importante. Son action est d'autant

plus efficace qu'il absorbe l'énergie cinétique des gouttes de pluie, recouvre une forte proportion du sol et ralentit l'écoulement du ruissellement ou encore maintient une bonne porosité à la surface du sol. D'une part, la couverture végétale protège contre le phénomène de battance des pluies et prolonge alors la perméabilité des sols et réduit le volume ruisselé. D'autre part, une grande quantité de l'énergie du ruissellement est absorbée par la litière qui entretient la mésofaune (influençant la vitesse d'infiltration). Enfin, l'état de la couverture végétale influence directement la rugosité du sol. Celle-ci dépend notamment du nombre de tiges par mètre carré. Un couvert végétal composé d'herbacées à tiges nombreuses aura une action protectrice du sol plus efficace contre le ruissellement que des arbres (Roose et Sarrailh, 1990).

3 – Inventaires des données utilisées

Pour élaborer la cartographie de la sensibilité des sols à l'érosion, nous nous sommes appuyés sur diverses données spatialisées :

- altimétriques, par le biais des courbes hypsométriques au pas de 50 m, digitalisées à partir des cartes topographiques IGN au 1/50 000^e et permettant l'élaboration d'un modèle numérique de terrain (NNT) ;

- la nature du sol : les données pédologiques étant indisponibles sur notre terrain d'étude, nous avons retenu la géologie des formations superficielles (données numériques au 1/50 000^e issues du Bureau de Recherches Géologiques et Minières [BRGM]) qui apporte une information sur la sensibilité des différents types de sols et produits d'altération de la roche mère à être désagregés et emportés par le ruissellement (Maurizot et Delfau, 1995) ;

- la nature du recouvrement du sol. Cette cartographie d'occupation du sol s'est appuyée sur l'exploitation de 2 images satellitales (datées du 7/08/2001 et du 30/09/2000), à haute résolution spatiale (30 m) fournies par le capteur ETM LANDSAT 7. Des méthodes de classifications dirigées couplées à des segmentations spatiales (basées sur le découpage des grandes unités géomorphologiques du paysage néo-calédonien à partir de données exogènes comme la délimitation du trait de côte et du massif de péridotite) ont permis de caractériser neuf thèmes terrestres d'occupation du sol.

Toutes ces informations ont été géo-référencées (projection UTM 58 Sud, WGS 72) et intégrées dans un système d'information géographique (SIG).

II – Méthodes mises en œuvre

La première étape de notre démarche consiste à sélectionner les facteurs les plus représentatifs intervenant dans les phénomènes érosifs. Il s'agit de

la topographie, caractérisée par le critère « inclinaison de la pente », de la nature du substrat, représentée par la géologie des formations superficielles, et de l'occupation du sol décrite par le couvert végétal. Le facteur climatique n'a pas été retenu dans l'élaboration du modèle d'érosion. En effet, dans le cas du climat néo-calédonien, avec ses épisodes cycloniques, les probabilités d'occurrences de fortes précipitations, provoquant les dégâts érosifs les plus importants, sont égales en tous lieux (Maurizot et Delfau, 1995). Les précipitations sont donc considérées comme constantes dans notre approche. Le phénomène d'érosion est envisagé, dans le cadre de ce travail, du point de vue des surfaces émettrices de particules solides, et non pas du point de vue du transport de ces particules dans les cours d'eau et de leur dépôt à l'aval. Dans ce sens, nous considérons qu'il y a présence d'érosion à partir du moment où le risque de déplacement de particules est potentiel, sans préjuger du devenir ultérieur de ces particules. La méthodologie de modélisation et cartographie de l'aléa érosion est schématisée par la figure 2.

Figure 2 – Méthodologie de cartographie de la sensibilité des sols à l'érosion

L'intérêt de notre démarche réside et s'appuie sur l'apport des données numériques par l'exploitation d'un SIG, permettant de spatialiser et caractériser le degré de sensibilité des sols à l'érosion sur l'ensemble de la zone

d'étude. La méthode employée consiste à intégrer les données précédemment mentionnées sous forme de couches d'informations dans un SIG. Ces couches sont ensuite reclassées qualitativement sous forme d'un indicateur de sensibilité en fonction de leur contribution au phénomène d'érosion (Chevalier *et al.*, 2001 ; Soti, 2003). Les nouveaux plans d'informations sont par la suite hiérarchisés puis combinés par le biais d'une analyse multicritère qualitative. Cette base de données spatialisées est pilotée par le logiciel *ArcGIS®* dans lequel sont intégrés les modules d'analyse spatiale et de modélisation 3D (*Spatial Analyst®* et *Surface 3D®*). Par ses fonctionnalités d'intégration de données hétérogènes (en mode vecteur ou « *raster* »), aux formats distincts, et d'actualisation rapide de celles-ci, le SIG nous est apparu comme un outil dynamique très intéressant pour croiser l'ensemble de nos données. Par ailleurs, ses capacités d'analyse des données à différentes échelles nous permettent une véritable approche globale du territoire étudié. Analysons maintenant plus précisément les traitements effectués pour chacun des facteurs retenus.

1 – Le facteur pente

Le premier facteur intervenant dans la sensibilité des sols à l'érosion est la pente. À partir du modèle numérique de terrain est calculée la variable pente (dérivée première de l'altitude). Une hiérarchisation en trois classes en fonction de son influence sur les phénomènes érosifs (tableau 1) est définie : une déclivité de 0 à 10 % représente une sensibilité à l'érosion faible, de 10 à 25 %, une sensibilité moyenne, et de plus de 25 % une sensibilité forte (Lagannier, 1994).

Déclivité de la pente	Indicateur de sensibilité à l'érosion
0 à 10 %	Faible
10 à 25 %	Moyen
25 % et +	Forte

Tableau 1 – Hiérarchisation des pentes selon leur déclivité

2 – La géologie des formations superficielles

Le second facteur retenu est lié à la nature des formations superficielles, et à son impact sur l'érodibilité des terrains : 29 classes géologiques sont représentées sur la zone d'étude (tableau 2). Chacune d'elles est classée selon un indice d'érodibilité, s'appuyant sur les valeurs de références établies par Maurizot et Delfau (1995). Au travers de cette typologie, chaque formation géologique est analysée en termes de cohésion, de propriété hydro-géologique, de granulométrie et d'hétérométrie. La combinaison de ces paramètres

détermine des classes d'érodibilité. La géologie des formations superficielles apporte des informations sur les produits d'altération en surface, dérivés de cette roche-mère, lorsqu'ils existent.

Il ne s'agit pas ici de faire une description exhaustive des formations géologiques présentes sur la zone d'étude, mais de renseigner sur les formations les plus sensibles à l'érosion et aux mouvements de terrain. Trois grands groupes se distinguent : les formations volcano-sédimentaires du substrat, les formations ultrabasiques de la nappe des péridotites, et les formations récentes, alluviales et littorales. Ces dernières principalement présentes au sein et au pied des massifs de péridotites en fond de vallée sont par le biais de leurs natures colluvionnaire et alluvionnaire, très sensibles aux processus érosifs. Les formations de péridotites, qui s'accompagnent de leur cortège d'altération, appartiennent aux massifs miniers. Nous citerons, entre autres, les serpentinites qui forment la semelle de la masse péridotitique charriée et les péridotites, roches très fracturées à toutes les échelles. Au sein des péridotites indifférenciées, on distingue les péridotites saines et massives rocheuses, dépourvues d'altération telles que les harzburgites et les dunites qui présentent des faciès peu sensibles aux processus érosifs, des péridotites altérées en partie latéritisées, saprolitiques. Il s'agit des latérites sur péridotites (altérites sur harzburgites, altérites sur dunites, etc.) présentant une grande sensibilité à l'érosion. Ces formations altéritiques sont le siège de nombreuses marques d'érosion et d'instabilité (*lavakas*, glissements et zones de solifluxion, arrachements et coulées boueuses...). Enfin les formations volcano-sédimentaires présentent des formations qui alternent des niveaux durs (rhyolites, tufs et basaltes) peu sensibles à l'érosion et des niveaux tendres (schistes, flysch, siltites, arénites, etc.) qui se distinguent par une sensibilité moyenne au phénomène érosif. L'ensemble de ces informations nous permet alors d'attribuer un indice qualitatif d'érodibilité à chaque type de formations géologiques présentes sur la zone d'étude. Une première hiérarchisation est réalisée en dix classes. Un regroupement en trois classes suivant une sensibilité à l'érodibilité faible, moyenne et forte est ensuite effectué (tableau 2).

3 – L'occupation du sol et le recouvrement végétal

Les données d'occupation du sol sont issues des classifications supervisées des images satellites Landsat 7 ETM. À partir de cette cartographie, nous regroupons les classes des formations végétales en fonction de leur taux de recouvrement. Une hiérarchisation est réalisée en attribuant une valeur d'érodibilité (allant de 1 à 6) aux différentes classes d'occupation du sol. Les zones à nu, représentant la plus grande sensibilité à l'érosion, reçoivent la note la plus forte, alors qu'une couverture végétale dense de type forêt, limitant forte-

Sous groupe lithologique	Groupe lithologique	Indice 10 classes	Indice 3 classes
Formations anthropiques	Remblais miniers	10	3
Formations alluviales et littorales	Argiles	9	3
Formations alluviales et littorales	Cordons littoraux ou dunaires	10	3
Formations alluviales et littorales	Formations littorales et alluviales	9	3
Formations alluviales et littorales	Alluvions	9	3
Formations de versant et de piedmont	Dépôts de versants	9	3
Formations de versant et de piedmont	Colluvions	9	3
Formations d’altération dérivant des gabbros	Altérites s.l.	10	3
Formations d’altération dérivant des roches ultrabasiques	Altérites sur harzburgite	10	3
Formations d’altération dérivant des roches ultrabasiques	Altérites sur dunités	10	3
Formations d’altération dérivant des roches ultrabasiques	Cuirasse	8	3
Formations sédimentaires et volcano-sédimentaires	Flysch, arénites calcaires	5	2
Formations sédimentaires et volcano-sédimentaires	Calcaires bioclastiques	4	2
Formations sédimentaires et volcano-sédimentaires	Flysch à éléments volcaniques	5	2
Formations sédimentaires et volcano-sédimentaires	Wild-flysch et brèches	5	2
Formations sédimentaires et volcano-sédimentaires	Calcaires à Foraminifères benthiques, calcschistes	5	2
Formations sédimentaires et volcano-sédimentaires	Flysch carbonaté	5	2
Formations sédimentaires et volcano-sédimentaires	Grès calcaireux	4	2
Formations sédimentaires et volcano-sédimentaires	Arénites siliceuses, « phtanites », calcaires	5	2
Formations sédimentaires et volcano-sédimentaires	Siltites, arénites, shales charbonneux	5	2
Formations sédimentaires et volcano-sédimentaires	Volcano-sédimentaire	5	2
Formations sédimentaires et volcano-sédimentaires	Tufs	5	2
Formations éruptives	Dunités, zone de transition dunités-gabbros	1	1
Formations éruptives	Harzburgites	1	1
Formations éruptives	Dolérites, basaltes, gabbros, sédiments	4	2
Formations éruptives	Rhyolites, tufs rhyolitiques	2	1
Formations éruptives	Serpentinites, roches associées	3	1
Formations éruptives	Dolérites, basaltes, gabbros, tufs	4	2
Formations éruptives	Basaltes, rhyolites, tufs, ignimbrites	4	2

Avec : 1 : sensibilité faible ; 2 : sensibilité moyenne ; 3 : sensibilité forte

Tableau 2 – Hiérarchisation des formations géologiques selon leur érodibilité

ment le processus érosif⁴, se voit attribuer la note la plus faible. Un deuxième regroupement fait suite à cette hiérarchisation afin d'obtenir une information qualitative. Trois classes déterminent ainsi le degré de protection de l'occupation du sol dans le processus érosif : couverture peu protectrice, protectrice, et très protectrice (tableau 3).

Thèmes d'occupation du sol	Thèmes d'occupation du sol reclassés	Indice d'érodibilité de la couverture végétale
Sols nus de mangrove	6	Peu protectrice
Mangrove clairsemée	3	Protectrice
Mangrove dense	1	Très protectrice
Savane herbeuse	3	Protectrice
Savane arbustive et arborée	1	Très protectrice
Sols nus	6	Peu protectrice
Maquis clairsemé	3	Protectrice
Maquis dense	1	Très protectrice
Forêt dense	0	Très protectrice

Tableau 3 – Regroupement des thèmes d'occupation du sol selon leur taux de recouvrement végétal

4 – Combinaison des facteurs

Il s'agit maintenant d'intégrer les résultats de ces analyses dans un modèle général de sensibilité des sols à l'érosion et de formaliser une typologie de cette sensibilité. Le croisement des données prises en compte dans le processus érosif repose sur une combinaison dans le modèle maillé : chaque couche d'information est représentée par une image dans laquelle la valeur de chaque maille est égale à un niveau de sensibilité à l'érosion du thème considéré. L'ensemble de ces images constitue un espace multivarié. Chacun de ces niveaux est codifié ainsi que nous l'avons décrit précédemment (faible, moyen, fort, pour la déclivité et la géologie des formations superficielles, et peu protectrice, protectrice, très protectrice pour le thème occupation du sol). L'analyse multicritère repose donc sur des paramètres qualitatifs. L'ensemble des traitements est réalisé à partir du système expert géographique du logiciel *Erdas Imagine®* (*Imagine Expert classifier*) qui permet de définir des scénarios indépendants des types de données et se basant sur des règles de décision. Le croisement des données s'effectue par des opérateurs logiques. Les résultats de ces combinaisons, 27 au total, donnent chacun une valeur qualitative de sensibilité selon une approche déductive (Chevalier et *al.*, 2001 ; Soti, 2003).

4. Par l'abondance du feuillage qui réduit l'énergie cinétique des gouttes de pluie, les tiges favorisent l'infiltration et le réseau de racines fixe le sol.

Quatre niveaux de sensibilité sont retenus : faible, moyen, fort et très fort. Ainsi, par exemple, si l'on croise une pente faible, avec une érodibilité des formations superficielles faible et une couverture végétale très protectrice, on obtient une valeur de sensibilité des sols à l'érosion faible, alors que la combinaison d'une déclivité forte, d'une érodibilité des formations superficielles forte et d'une couverture végétale peu protectrice conduit à une sensibilité très forte. Le processus de hiérarchisation de ces combinaisons est schématisé par l'arbre décisionnel illustré par la figure 3.

III – Résultats et discussion

1 – La cartographie de la sensibilité des sols à l'érosion

Analysons tout d'abord la distribution spatiale des trois facteurs pris en compte dans le modèle selon leur contribution dans le processus d'érosion :

- au niveau topographique (fig. 4a) : la plaine se caractérise par des pentes nulles et donc peu sensibles au phénomène érosif alors que le massif minier couvrant la moitié de la région au nord-est présente un relief escarpé très sensible à l'érosion ;

- au niveau de la nature du sol (fig. 4b) : la vaste zone de roches ultramafiques composée de péridotites saines (harzburgites, dunites et une épaisse couche de serpentine à la base du massif minier) se caractérise par une sensibilité à l'érosion faible mais est marquée par de nombreuses zones de forte instabilité (telles que les formations d'altérations, les dépôts sédimentaires aux pieds des versants, etc.), émettrices d'importants apports sédimentaires. En effet, la surface du massif ultramafique consiste en un manteau d'altération latéritique de 5 à 50 m d'épaisseur. Les couches de latérites (et particulièrement la limonite), un matériau en vrac quand elles ne sont pas surplombées par une cuirasse ferrugineuse, sont très vulnérables à l'érosion lorsqu'elles sont dépouillées. La plaine littorale présente dans son ensemble une sensibilité à l'érosion moyenne (composée de flysch, de dolérites, de basaltes, de gabbros, de sédiments, etc.) à forte avec notamment la présence de formations alluvionnaires étendues ;

- au niveau du recouvrement végétal (fig. 4c), ce dernier présente une sensibilité généralement faible sur l'ensemble de la zone d'étude. En effet, la plaine est couverte par une vaste savane sèche parsemée de niaoulis. Cette savane est utilisée comme pâturages permanents, mais des feux de brousse s'y produisent presque chaque année. Les massifs miniers sont recouverts d'un maquis plus ou moins clairsemé, alors que le fond des vallées abrite des formations forestières denses. Cependant certains secteurs, marqués par une

Déclivité + Erodibilité + Couverture végétale = Sensibilité

Figure 3 – Arbre décisionnel pour la réalisation de la carte de sensibilité des sols à l'érosion (d'après Soti, 2003)

absence de couverture végétale, comme les berges de la rivière de la Tontouta et de la Ouenghi ou les estuaires (Grande Plaine Salée) présentent une forte sensibilité à l'érosion. C'est aussi le cas des îles de la baie de Saint-Vincent et d'une partie des rivages de la commune de Bouloupari.

Figure 4 – Cartographie de la sensibilité des sols à l'érosion sur les communes de Bouloupari, Dumbéa et Païta

L'image composite (fig. 4d), résultat de la combinaison multicritère, apporte une spatialisation de l'érosion potentielle des sols, hiérarchisée selon un niveau de sensibilité. Nous pouvons ainsi distinguer les zones les plus affectées par le processus érosif et celles les plus préservées. Une part importante de l'information ne peut pas être restituée sur la partie Nord-est de la zone d'étude, du fait de la couverture nuageuse sur la donnée satellitaire utilisée pour la cartographie de l'occupation du sol. Cette absence d'information du couvert végétal se répercute sur la carte finale lors de la combinaison de l'ensemble des données précédentes. Sur cette carte-résultat (fig. 4d) on note une dichotomie prononcée entre la plaine littorale peu soumise aux processus érosifs d'une manière générale et le système montagneux marqué par des degrés de sensibilité plus au moins forts. Cette situation est bien entendu le résultat du croisement de facteurs présentant une forte sensibilité à l'érosion. Ainsi les zones caractérisées par de fortes pentes, un substrat très érodable et

une faible protection végétale montrent une forte potentialité de perte en sol. Dans ce sens, les crêtes, certains versants du massif ultrabasique ou encore les îles dénudées au large de la baie de Saint-Vincent et le système collinaire longeant la côte Sud-ouest de la commune de Bouloupari affichent une forte sensibilité à l'érosion. Cette dernière, en grande partie d'origine naturelle, est alors accélérée par l'exploitation minière localisée exclusivement sur les massifs ultramafiques.

2 – Limites et perspectives

La méthode mise en œuvre conduit à une meilleure compréhension de la distribution spatiale de l'érosion. Toutefois, ce travail constitue la première étape vers une estimation plus précise de cet aléa. Pour y tendre, plusieurs actions sont en cours de développement. Il s'agit particulièrement de l'instrumentalisation de sites pilotes afin de disposer de mesures de terrain pour calibrer et valider au mieux le modèle. Ces mesures telles que des hauteurs de pertes en sols permettront d'affiner les indices déterminés à dire d'expert (restant par nature subjectifs) et de coupler des valeurs de terrain à un niveau de sensibilité. En effet, pour le moment, la validation s'est tournée essentiellement vers une interprétation visuelle de photographies aériennes et d'images satellites ainsi que par quelques relevés *in situ*. Le deuxième axe de recherche tend vers l'intégration de nouveaux facteurs contribuant au processus d'érosion. Ces derniers traitent de la morphologie du terrain telle que les courbures horizontales et de profils, les surfaces drainées cumulées, les précipitations, ou encore les pistes non revêtues créées par l'action de l'homme (particulièrement étendues pour la prospection et l'activité minière). L'intégration de ces paramètres permettrait d'améliorer sensiblement les précisions spatiale et qualitative du modèle. La poursuite de ce travail pourrait aussi s'orienter vers une approche plus dynamique. Avec l'intégration du facteur climatique, la variabilité des précipitations pourrait s'exprimer selon une saison sèche ou humide. De même, les épisodes cycloniques, très fréquents dans les îles tropicales du Pacifique Sud, pouvant produire des précipitations extrêmes et entraînant des taux de dépôt de sédiments parmi les plus élevés dans le monde comme dans les îles Fidji (Terry et *al.*, 2002), doivent être pris en compte. Dans le même objectif, il est aussi envisageable d'élaborer des scénarios de changement d'occupation du sol (avec l'ouverture de nouvelles exploitations minières ou des effets de feux de brousse) et de mesurer alors leur impact sur la distribution de l'aléa érosion.

*

Au travers de cette présentation, nous avons essayé de contribuer à l'étude de l'érosion mécanique des sols, problème majeur en Nouvelle-Calédonie,

fortement aggravée par l'exploitation minière. Un modèle cognitif, envisagé du point de vue de l'émission potentielle de particules solides a été mis en œuvre sur les communes de Dumbéa, Païta et Bouloupari, situées au nord-ouest de Nouméa. Ce modèle qualitatif s'est appuyé sur des paramètres simples représentant les principaux facteurs de l'érosion tels que l'inclinaison de la pente, la géologie des formations superficielles et la couverture végétale. Ces paramètres, intégrés dans un Système d'Information Géographique (SIG), sous forme de couches d'information thématique, ont été reclassés qualitativement suivant un indicateur d'érodibilité hiérarchisant leur contribution au processus d'érosion. Une analyse multicritère de ces plans d'information, réalisée à partir d'un système expert géographique, a ensuite permis de concevoir la cartographie de l'aléa érosion des sols selon quatre niveaux de sensibilité, déterminés d'une manière qualitative à dire d'expert. Ce travail conduit à une meilleure compréhension de la distribution spatiale de l'aléa érosion et permet une comparaison relative entre les secteurs de la zone d'étude. Nous pouvons ainsi procéder à une première classification des zones les plus polluantes en termes de production de sédiments terrigènes. Dans ce sens, ce type de produit peut servir d'outil d'aide à la décision en matière de gestion et d'aménagement des bassins versants. Enfin, cette modélisation, basée sur l'utilisation d'un SIG, permet de couvrir une vaste région d'analyse et présente l'avantage d'être relativement simple et donc aisément reproductible à d'autres territoires.

Bibliographie

Chevalier P., Hébert A., Kaufmant Y. et Moyen J., 2001 - *Cartographie de l'aléa « érosion des sols » à la Réunion : caractérisation et cartographie des phénomènes érosifs. Rapport BRGM RP -51236-FR - 2001 SGR/REU 27.* Saint-Denis : BRGM, 78 p.

Collinet J. et Valentin C., 1979 - Analyse des différents facteurs intervenant sur l'hydrodynamique superficielle. Applications agronomiques. *Cahiers ORSTOM, série Pédologie*, Paris, vol. 17, n° 4, p. 283-328.

Dumas P., 2004 - *Caractérisation des littoraux insulaires : approche géographique par télédétection et Système d'Information Géographique pour une gestion intégrée. Application en Nouvelle-Calédonie.* Thèse de doctorat. Orléans : Université d'Orléans, 401 p.

Dumas P., Fotsing J.-M. et David G., 2004 - Essai de délimitation de la partie terrestre du littoral à l'aide d'un système d'information géographique : Application à la Grande Terre (Nouvelle-Calédonie). In : *Apports des SIG au monde de la recherche.* Orléans : Presse Universitaire d'Orléans, p. 160-173.

Hudson N.W., 1973 - *Soil Conservation.* London : Bastford, 320 p.

King D. et Le Bissonais Y., 1992 - Rôle des sols et des pratiques culturales dans l'infiltration et l'écoulement des eaux. *Comptes Rendus de l'Académie d'Agriculture de France*, Paris, vol. 78, n° 6, p. 91-105.

Le Bissonais Y., 1988 - *Analyse des mécanismes de désagrégation et de la mobilisation des particules de terre sous la pluie*. Orléans : Université Orléans/INRA, Thèse, 220 p.

Lagannier R., 1994 - *Contribution à l'étude des processus d'érosion et des risques naturels dans les îles du sud-ouest Pacifique (Nouvelle-Calédonie et Îles Salomon)*. Thèse nouveau régime, spécialité Géographie, Université des Sciences et Technologies de Lille. Paris : ORSTOM, 305 p.

Maurizot P. et Delfau M., 1995 - *Cartographie de la sensibilité à l'érosion, Province Sud de Nouvelle-Calédonie. Rapport BRGM n° R 38660*. BRGM : Nouméa, 72 planches.

Roose E., 1977 - Érosion et Ruissellement en Afrique de l'Ouest. Vingt années de mesure en parcelles expérimentales. Paris : ORSTOM, collection « Travaux et Documents », n° 78, 108 p.

Roose E. et Sarrailh J.-M., 1990 - Érodibilité de quelques sols tropicaux. Vingt années de mesure en parcelles d'érosion sous pluies naturelles. *Cahiers ORSTOM, série Pédologie*, Paris, vol. XXV, n° 1-2, p. 7-30.

Soti V., 2003 - *Apport de la télédétection spatiale à la gestion intégrée du lagon de Saint-Gilles/La Saline à l'île de la Réunion. Un exemple d'application : cartographie et suivi des zones susceptibles à l'érosion des sols entre 1995 et 2002 par intégration de données Spot*. Montpellier : SILAT, Mémoire de Master, 39 p.

Thomas M.F., 1994 - *Geomorphology in the tropics. A study of weathering and denudation in low latitudes*. John Wiley : Chichester, xix + 460 p., 189 fig. et 23 photos.

Terry J.-P., Garimella S. et Kostaschuck R.A., 2002 - Rates of flood-plain accretion in a tropical island river system impacted by cyclones and large floods. *Geomorphology*, n° 42, p. 171-182.

Wischmeier W.H., 1974 - New developments in estimating water erosion. In : *29^e Meeting Soil Conservation Society of America*. New York : Syracuse University, p. 179-186.

Wischmeier W.H. et Smith D.D., 1978 - *Predicting rainfall erosion losses: a guide to conservation planning*. Washington DC : US Department of Agriculture, Agricultural handbook n° 537, 58 p.

Résumé

Au travers de cette communication, nous nous intéressons à l'érosion mécanique des sols, problème majeur en Nouvelle-Calédonie du fait de phénomènes naturels (climat tropical...) et anthropiques (exploitation minière et feux de forêts ou de brousse...). L'objet de cet article est d'offrir une méthodologie de cartographie de la sensibilité des sols à l'érosion, envisagée du point de vue de l'émission potentielle de particules solides. Cette spatialisation de l'aléa érosion est mise en œuvre sur une partie de la côte occidentale de la Nouvelle-Calédonie. Dans le cadre de cette étude, les facteurs les plus représentatifs intervenant dans les phénomènes érosifs ont été retenus. Il s'agit de la topographie, caractérisée par le critère « inclinaison de la pente », de la nature du substrat représentée par la géologie des formations superficielles, et de l'occupation du sol décrite par le couvert végétal. L'intérêt de notre démarche réside et s'appuie sur l'apport de la télédétection et des données numériques par l'exploitation d'un système d'information géographique (SIG) permettant de caractériser, dans certaines limites, les zones sensibles aux processus d'érosion. La méthode employée consiste à croiser ces différents plans d'informations réalisés sous SIG par une méthode d'évaluation multicritères.

MOTS-CLÉS : Nouvelle-Calédonie, érosion des sols, Système d'Information Géographique (SIG), télédétection.

Abstract

Methodology for Soil Erosion Mapping: A case-study of New Caledonia (from Dumbea to Païta - Bouloupari region)

Soil erosion is a serious problem in New Caledonia mainly due to extremely heavy rainfall, steep slopes and natural geologic process. But erosion is accelerated by human activities such as openpit mining or brush fires (agricultural practices). This paper describes the methodology of mapping the sensitivity of soil erosion, looked at from the point of view of the potential emission of solid particles. The erosion process is spatially characterized on the Western coast of New Caledonia. In this study, the most representative factors involved in erosion phenomena were retained: slope steepness, geological substrate type and land use. The interest of our approach lies and rests on the contribution of remote sensing and digital data using a geographical information system (GIS). The method used is to cross these different information layers with a multi-criteria evaluation. The objective is to highlight the zones on the watersheds most affected by erosion process.

KEYWORDS: *New Caledonia, Soil erosion, Geographical Information System (GIS), Remote sensing.*