

Projet GERSA
Développement méthodologique
pour la Région Pacifique

décembre 2006

CRISP



Coral Reef Initiatives for the Pacific
Initiatives Corail pour le Pacifique

Spatialisation de l'aléa érosion en Nouvelle-Calédonie

Auteur : G. Luneau
sous la direction de P. Dumas

CRISP



Coral Reef InitiativeS for the Pacific
Initiatives Corail pour le Pacifique

Cellule de Coordination CRISP

Chef de programme : Eric CLUA

CPS - BP D5 98848 Nouméa Cedex

Nouvelle-Calédonie

Tel/fax : (687) 26 54 71

Email : ericc@spc.int

www.crisponline.net

CRISP



Composante 1
projet 1A4

Chef de projet : Gilbert David

Contact : Jean-Brice Herrenschmidt

IRD - Unité ESPACE

101 Promenade Roger Laroque

BP A5 98848 NOUMEA CEDEX

tel : (687) 26 08 27

herren@noumea.ird.nc

Financement du projet 1A4 :

L'initiative pour la protection et la gestion des récifs coralliens dans le Pacifique, engagée par la France et ouverte à toutes les contributions, a pour but de développer pour l'avenir une vision de ces milieux uniques et des peuples qui en dépendent ; elle se propose de mettre en place des stratégies et des projets visant à préserver leur biodiversité et à développer les services économiques et environnementaux qu'ils rendent, tant au niveau local que global. Elle est conçue en outre comme un vecteur d'intégration régionale entre états développés et pays en voie de développement du Pacifique.

Le programme vise à :

- articuler recherche, aménagement et développement ;
- combiner activités transversales de réseaux et projets de terrain localisés à objectifs de conservation et de développement économique ;
- combiner les apports de disciplines scientifiques diverses, incluant la biologie, l'écologie, la géographie, l'économie, la sociologie, le droit et l'anthropologie ;
- intervenir sur l'ensemble des thèmes - terrestres et marins - intéressant les récifs (y compris l'assainissement et la gestion des bassins versants ou l'organisation foncière) ;
- ne pas créer de nouvelle structure mais apporter des ressources financières à des partenaires déjà actifs et intéressés à développer et consolider leurs activités dans un esprit de coopération régionale.

Le CRISP est structuré en trois composantes comprenant respectivement divers projets :

- Composante 1 : Aires marines protégées et gestion côtière intégrée

- Projet 1A1 : Analyse écorégionale
- Projet 1A2 : Aires Marines Protégées
- Projet 1A3 : Renforcement institutionnel
- Projet 1A4 : Gestion côtière intégrée
- Projet 1A5 : Coordination des projets

- Comp. 2 : Connaissance, gestion, restauration et valorisation des écosystèmes coralliens

- 2A : Connaissance, valorisation et gestion des écosystèmes coralliens
- 2B : Restauration récifale
- 2C : Valorisation des substances Actives Marines
- 2D : Mise en place d'une base de données régionale (Reefbase Pacifique)

- Composante 3 : Appui institutionnel et technique

- 3A : Capitalisation, valorisation et vulgarisation des acquis du programme CRISP
- 3B : Coordination, promotion et développement du programme CRISP

COMPOSANTE 1

PROJET 1A4 : GESTION CÔTIÈRE INTÉGRÉE

Le projet GERSA mené par l'IRD- Unité Espace S140 a pour objectif de développer des méthodologies et des outils pour favoriser une meilleure gestion des zones côtières dans les îles hautes du Pacifique, en intégrant les interactions entre bassins versants et littoraux récifaux ainsi que les dynamiques des acteurs locaux dans la mise en œuvre de systèmes de gestion durable, notamment d'Aires Marines Protégées (AMP).

Le projet GERSA est composé de 4 lots :

- 1 - le lot approche spatiale
- 2 - le lot gestion intégrée des territoires :
territorialité et valeur socio-économique
- 3 - le lot système d'information en environnement et modélisation
- 4 - le lot dynamique et modélisation hydrologique des bassins versants



PREAMBULE

La présente étude réalisée par Gaëlle Luneau s'intègre dans les développements méthodologiques du projet GERSA – *GEstion des bassins versants et des littoraux Récifaux : du Satellite à l'Acteur* – mené par l'Unité ESPACE S140 de l'IRD dans le cadre du Programme régional CRISP (Initiatives Corail pour le Pacifique).

Le projet GERSA constitue le cœur du projet 1A4 « *Gestion intégrée des zones côtières récifales et des bassins versants* » de la composante 1 du programme CRISP.

Cette étude méthodologique appliquée sur un terrain spécifique de Nouvelle-Calédonie est de portée régionale et procure la base sur laquelle l'équipe du projet GERSA va s'appuyer pour développer des outils appliqués aux différents sites retenus dans le cadre du projet : Vanuatu, Fidji, Polynésie française.

Pascal Dumas

SOMMAIRE

| | |
|---|----|
| INTRODUCTION..... | 4 |
| 1. CONTEXTE DE L'ETUDE..... | 6 |
| 1.1. La sensibilité à l'érosion au sein d'une Gestion Intégrée des Zones Côtières | 6 |
| 1.2. Une zone d'étude représentative des pressions exercées en Nouvelle Calédonie | 8 |
| 1.3. Ssynthèse de la problématique..... | 10 |
| 2. METHODOLOGIE | 11 |
| 2.1. Cahier des charges et précision des termes utilisés | 11 |
| 2.2. Paramètres de l'érosion : état de l'art..... | 11 |
| 2.3. Inventaire des données disponibles | 13 |
| 2.4. Une évolution du modèle à plusieurs niveaux..... | 14 |
| 2.4.1. Affinage des indicateurs d'érosion et mise à jour des données | 14 |
| 2.4.2. Croisement des couches par Evaluation Multicritère | 14 |
| 2.4.3. Comparaison multi-scalaire | 15 |
| 2.4.4. Des pistes de travail pour une évolution vers un modèle dynamique..... | 15 |
| 3. REALISATION DES COUCHES DU MODELE D'EROSION DES SOLS..... | 16 |
| 3.1. Homogénéisation des données | 16 |
| 3.2. Réalisation des couches d'informations | 16 |
| 3.2.1. Relief..... | 17 |
| 3.2.1.1. Calcul des pentes..... | 18 |
| 3.2.1.2. Calcul de la courbure..... | 18 |
| 3.2.1.3. Calcul des surfaces drainées cumulées..... | 20 |
| 3.2.2. Nature du sol..... | 21 |
| 3.2.3. Occupation des sols | 22 |
| 3.2.3.1. Classification du degré de protection de la végétation..... | 22 |
| 3.2.3.2. Extraction des pistes non revêtues..... | 23 |
| 3.2.4. Climat | 24 |
| 4. MISE EN PLACE D'UN MODELE STATIQUE PAR EVALUATION MULTICRITERE..... | 26 |
| 4.1. Intégration des couches | 26 |
| 4.2. Standardisation des couches..... | 26 |
| 4.2.1. Facteur 1 : Surfaces drainées cumulées | 27 |
| 4.2.2. Facteur 2 : Précipitations | 27 |
| 4.2.3. Facteur 3 : Courbure horizontale | 28 |
| 4.2.4. Facteur 4 : Courbure de profil..... | 28 |
| 4.2.5. Facteur 5 : Erodibilité des matériaux géologiques..... | 28 |
| 4.2.6. Facteur 6 : Occupation du sol | 29 |
| 4.2.7. Facteur 7 : Pentess..... | 29 |
| 4.2.8. Facteur 8 : Pistess..... | 30 |
| 4.3. Pondération des facteurs et combinaison des couches | 30 |
| 4.3.1. Scénario 1 : Les précipitations : facteur principal de l'érosion..... | 31 |
| 4.3.2. Scénario 2 : Un poids minimal affecté aux précipitations | 33 |
| 4.4. Interprétation des résultats | 34 |
| 5. SIMULATION DU MODELE AVEC DES DONNEES A RESOLUTION SPATIALE FINE | 37 |
| 5.1. Choix de la zone concernée..... | 37 |
| 5.2. Réalisation des couches d'informations | 37 |
| 5.2.1. Classification de la végétation à partir d'image satellite SPOT5..... | 38 |
| 5.2.1.1. Pré-traitements | 38 |
| 5.2.1.2. Classification de la végétation..... | 39 |

| | |
|---|----|
| 5.2.2. Données issues du MNT..... | 42 |
| 5.2.3. Autres données..... | 42 |
| 5.3. Evaluation Multicritère : présentation et évaluation du résultat..... | 42 |
| 6. VERS UN MODELE DYNAMIQUE ? | 44 |
| 6.1. Intérêts et objectifs de la démarche | 44 |
| 6.2. Présentation des premiers résultats obtenus | 44 |
| 6.2.1. Spatialisation de l'aléa Erosion par croisement de 4 paramètres..... | 44 |
| 6.2.2. Spatialisation de l'aléa Erosion par croisement de la totalité des paramètres..... | 45 |
| 6.3. Interprétations..... | 47 |
| CONCLUSION | 49 |
| BIBLIOGRAPHIE | 50 |
| SIGLES ET ABREVIATIONS..... | 51 |
| LISTE DES FIGURES..... | 52 |
| LISTE DES TABLEAUX..... | 53 |
| LISTE DES ANNEXES..... | 54 |
| ANNEXES..... | 55 |

INTRODUCTION

La Nouvelle Calédonie se situe dans le Sud-Ouest de l'océan Pacifique à proximité du tropique du Capricorne entre le 19° et le 23° de latitude Sud et le 163° et le 168° de longitude Est. Située à 20000 Km de Paris, elle est le territoire français le plus éloigné de sa métropole. La Nouvelle Calédonie constitue un archipel qui couvre au total 18750 Km² répartis entre l'île principale, la « Grande Terre », et les îles Loyautés (Maré, Lifou, Ouvéa) situées à une centaine de kilomètres à l'Est de la Grande Terre (Cf. *Figure 1 ci-après : Carte de situation de la Nouvelle Calédonie dans l'océan Pacifique*).

L'Institut de recherche pour le développement (IRD) est un établissement à caractère scientifique et technologique, placé sous la double tutelle du Ministère délégué à l'Enseignement supérieur et à la Recherche et du Ministère délégué à la Coopération, au Développement et à la Francophonie.

Le centre IRD de Nouvelle Calédonie, le premier du Pacifique, a été créé à Nouméa le 2 août 1946 sous l'appellation d'Institut Français d'Océanie et est devenu en 1998 le Centre IRD de Nouvelle Calédonie. Il rassemble de nombreuses disciplines scientifiques : océanographie, écologie marine, géologie, géophysique, pharmacologie, agronomie, botanique, entomologie, archéologie, etc.. Sa renommée est internationale, non seulement dans la zone du Pacifique Sud-Ouest mais également dans toute la ceinture intertropicale.

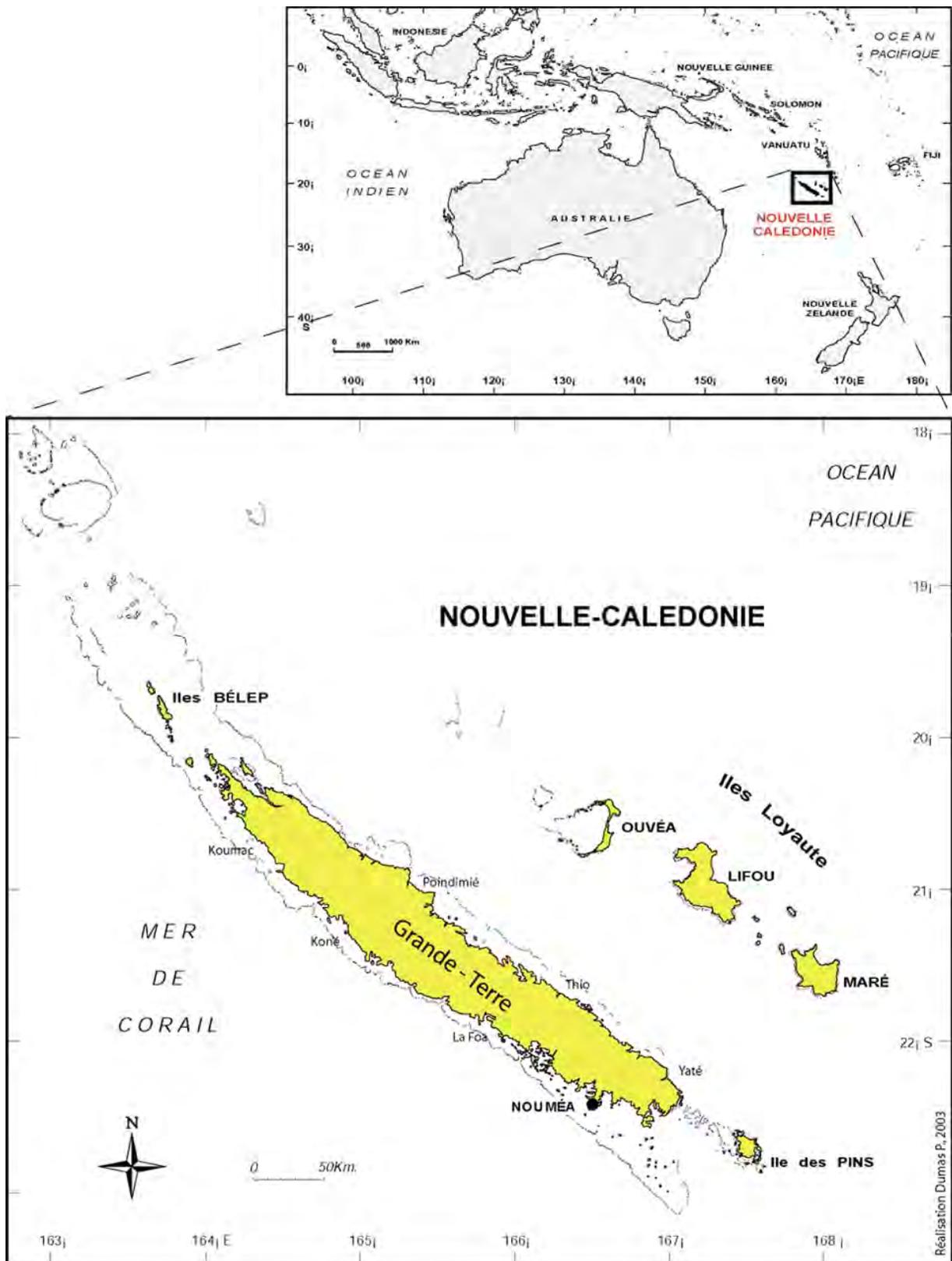
Les recherches sont menées en partenariat avec des institutions locales (Université de la Nouvelle-Calédonie, Institut Agronomique néo-Calédonien, IFREMER, Institut Pasteur, CNRS, etc.) ou régionales (Secrétariat général de la Communauté du Pacifique, University of the South Pacific, CSIRO, Agence Universitaire de la Francophonie, etc.).

Le centre de Nouméa est composé de 13 UR (Unités de Recherche) et de 5 US (Unités de Services). L'UR CoRéUs (Communautés Récifales et Usages) étudie la compréhension des interactions entre la biodiversité des écosystèmes coralliens et la diversité de réponse des activités humaines. CoRéUs travaille notamment sur le programme PNEC (Programme National Environnement Côtier), plus particulièrement sur l'axe « Indicateurs et ressources vivantes en milieu corallien ». L'objectif principal de cet atelier est de structurer la réflexion sur les indicateurs proposés pour tester l'effet de perturbations naturelles ou anthropiques sur les ressources des écosystèmes coralliens. Ces travaux permettent notamment à la France, qui possède 10% des récifs mondiaux, de mettre en place des outils de gestion de cette biodiversité. C'est dans le cadre de ce programme PNEC que s'insère mon stage, réalisé au sein de deux unités : l'UR CoRéUS et de l'US ESPACE (Expertise et SPAtialisation des Connaissances en Environnement), qui m'a accueilli dans ses locaux pendant ces six mois.

La connaissance du milieu terrestre en amont de la zone lagunaire permet de prévenir les risques de pollution, notamment par la mise en œuvre d'actions de gestion sur les bassins versants. L'érosion représente l'ensemble des phénomènes 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 combinée de la pluie et du ruissellement. Bien que l'eau soit définie comme un agent morphogène moteur de l'érosion, d'autres facteurs interviennent dans ce processus et conditionnent son impact (DUMAS, 2004). En Nouvelle Calédonie, l'érosion des sols est un problème récurrent, notamment du fait de l'action anthropique : les feux de brousse et l'exploitation minière sont les deux pratiques principales jouant un rôle dans ces processus.

L'objectif de ce stage a donc été la mise en place d'une méthodologie (basée sur le modèle cognitif de Pascal DUMAS) reproductible sur d'autres terrains et permettant de modéliser l'aléa Erosion des sols sur les bassins

versants des communes de Dumbéa, Païta et Boulouparis, dans le but d'une connaissance approfondie de la localisation de cet aléa.



1. CONTEXTE DE L'ETUDE

1.1. La sensibilité à l'érosion au sein d'une Gestion Intégrée des Zones Côtières

La zone côtière est un espace extrêmement complexe dont le fonctionnement et l'évolution sont conditionnés par de multiples paramètres naturels et anthropiques (GOURMELON, ROBIN, 2005). Dans le cadre de sa thèse « *Caractérisation des littoraux insulaires : approche géographique par télédétection et SIG pour une gestion intégrée – Application en Nouvelle Calédonie* » soutenue en 2004, P. DUMAS s'est intéressé, entre autres, à la problématique de l'érosion des sols sur le territoire des communes de Dumbéa, Païta et Boulouparis et aux conséquences de ce phénomène sur le lagon en aval. Une carte de la sensibilité des sols de cette « zone pilote » a été produite grâce à l'élaboration d'un **modèle cognitif**, envisagé du point de vue de l'émission potentielle de particules solides. La démarche utilisée lors de la définition du modèle est présentée brièvement ci-après.

Dans une région donnée, les phénomènes d'érosion sont la résultante d'un ensemble de critères élémentaires du milieu (naturel et anthropique) pouvant être regroupés en quatre catégories (MAURIZOT et DELFAU, 1995) :

| CRITERES | |
|---------------------------------|---|
| Précipitations | Facteur externe |
| Sol et proche sous-sol | Facteur interne |
| Relief | Facteur interne |
| Occupation de la surface du sol | Eléments d'interface qui modifient (protègent ou aggravent) l'action des facteurs externes sur les facteurs internes. |

Tableau 1 : Présentation des grandes catégories de critères de l'érosion (MAURIZOT et DELFAU, 1995)

Le modèle qualitatif de sensibilité à l'érosion est basé sur des paramètres simples représentant les principaux facteurs de l'érosion : le **relief**, la **nature** et l'**occupation du sol** (le facteur climatique n'a pas été pris en compte pour l'élaboration du modèle et les précipitations ont été considérées comme constantes dans cette approche). Les paramètres choisis sont présentés dans le tableau ci-dessous :

| FACTEUR DE L'EROSION | IMPLICATION DE CES FACTEURS DANS LES PROCESSUS D'EROSION | PARAMETRES CHOISIS POUR LE MODELE | DONNEES UTILISEES |
|----------------------|--|---|--|
| Topographie | Le relief est une donnée fondamentale pour l'étude de tous les phénomènes naturels régis par la gravité et qui obéissent aux lois physiques de l'écoulement (MAURIZOT et DELFAU, 1995). La pente a une grande influence puisqu'elle fournit son énergie érosive à l'eau. L'inclinaison de la pente agit directement sur la vitesse du ruissellement, accélérant le transport solide vers le bas et augmentant ainsi l'impact de l'ablation des matériaux détritiques (DUMAS, 2004). | Déclivité de la pente | Construction d'un MNT à partir des courbes de niveaux sur l'ensemble de la Grand Terre (pas de 50 m) |
| Nature du sol | La participation de la nature du sol et du sous-sol est fonction de sa perméabilité et de l'aptitude au détachement de particules. Chaque type de sol réagit différemment en fonction de sa texture, sa structure, sa porosité et son taux de matières organiques (DUMAS, 2004). | Erodibilité des formations superficielles | Carte de la Géologie des formations superficielles (Echelle : 1/200000, Source : BRGM, 1981) |

| FACTEUR DE L'ÉROSION | IMPLICATION DE CES FACTEURS DANS LES PROCESSUS D'ÉROSION | PARAMETRES CHOISIS POUR LE MODELE | DONNEES UTILISEES |
|----------------------|---|---------------------------------------|---|
| Occupation du sol | L'occupation du sol, notamment la couverture végétale, détermine directement le degré de protection des sols (ZENGXIANG <i>et Al</i> , 1996). L'influence du couvert végétal est très importante : il absorbe l'énergie cinétique des gouttes de pluie, recouvre une forte proportion du sol, ralentit l'écoulement du ruissellement et maintient une bonne porosité à la surface du sol (DUMAS, 2004). | Taux de recouvrement de la végétation | Images Landsat 7 du 30/09/00 et 07/08/01 (pixel de 30m) |

Tableau 2 : Tableau récapitulatif des paramètres de l'érosion utilisés par P. DUMAS en 2004

Pour chacun de ces paramètres, un reclassement de la donnée a été réalisé, grâce à l'utilisation des Systèmes d'Informations Géographiques et des méthodes de traitement d'images satellites, sous forme d'un indicateur de sensibilité à l'érosion : sensibilité faible, moyenne ou forte. Les différentes couches d'informations, représentées au format Raster ont ensuite été combinées (logiciel ERDAS Imagine) selon une hiérarchie représentée par un arbre décisionnel permettant d'aboutir à la carte de la sensibilité des sols à l'érosion (Cf. ANNEXE I : *Méthodologie générale de cartographie de la sensibilité des sols à l'érosion*, ANNEXE II : *Arbre décisionnel pour la cartographie de la sensibilité à l'érosion*).

Le résultat obtenu est présenté dans la Figure 2 ci-dessous. Cette carte constitue un outil d'aide à la décision en matière de GIZC¹. Simple à comprendre avec ses 4 classes de sensibilité à l'érosion, elle permet d'avoir une vue d'ensemble sur la vulnérabilité à l'érosion des territoires et la localisation des zones sur lesquelles agir prioritairement.

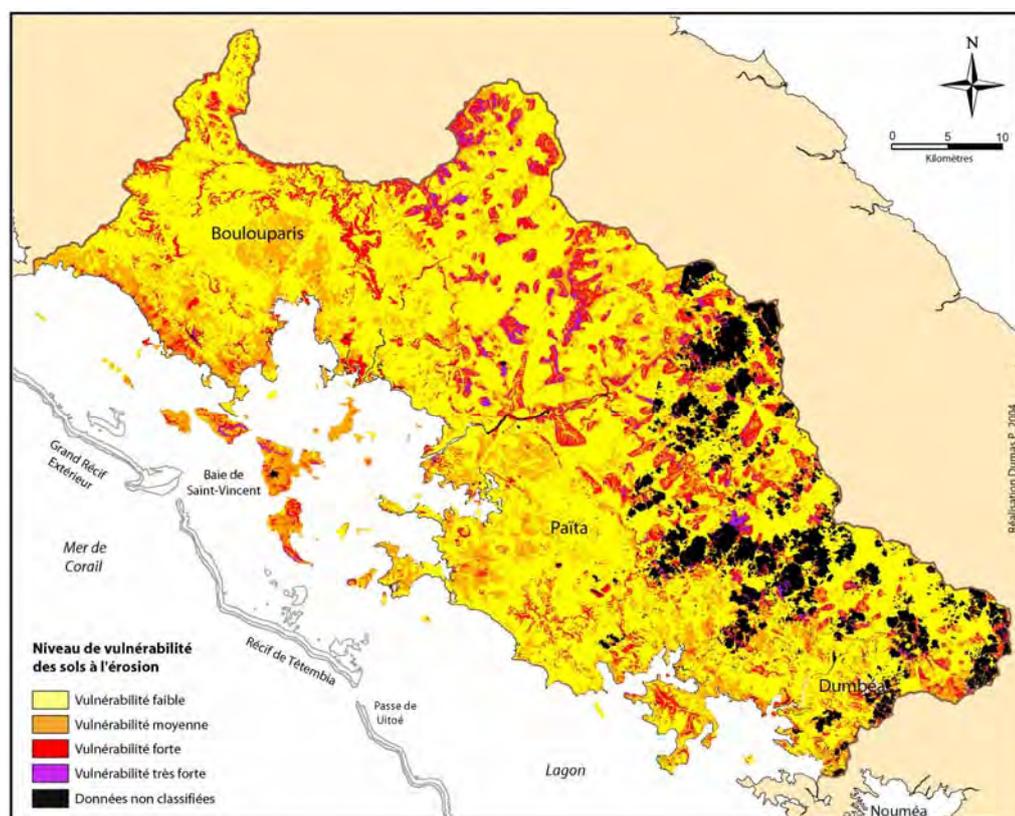


Figure 2 : Carte de la sensibilité des sols à l'érosion (DUMAS, 2004)

¹ Gestion Intégrée des Zones Côtières

1.2. Une zone d'étude représentative des pressions exercées en Nouvelle Calédonie

Les bassins versants des communes de Dumbéa, Païta et Boulouparis, situées au Nord de Nouméa, constituent la zone d'étude choisie pour la thèse de P. DUMAS. Le stage se situant dans la continuité de cette thèse, la zone de travail sera identique (Cf. Figure 3 ci-après : Carte de localisation de la zone d'étude). Du point de vue géographique, ce terrain d'étude est caractérisé par une dichotomie entre la zone de plaine et la Grande Chaîne, culminant à 1600m d'altitude. De par leur proximité à la capitale Nouméa, ces trois communes connaissent une croissance démographique importante. Cependant, cette région présente tout de même une faible densité de population.

| | NOMBRE D'HABITANTS | | DENSITE DE POPULATION (Habitants/Km ²) | |
|-------------|--------------------|-------|--|-------|
| | 1969 | 2004 | 1969 | 2004 |
| DUMBEA | 1304 | 18608 | 5,15 | 73,47 |
| PAÏTA | 2522 | 12062 | 3,63 | 17,39 |
| BOULOUPARIS | 846 | 2089 | 0,97 | 2,40 |

Tableau 3 : Croissance de la population dans les communes de Dumbéa, Païta et Boulouparis (Données ISEE)

Ces communes constituent une zone de travail intéressante du point de vue de la **diversité des pressions naturelles et anthropiques** (périurbanisation, aquaculture, élevage) exercées sur le milieu. Ces activités jouent un rôle dans les processus érosifs : cette « zone pilote » est remarquable par son caractère représentatif du territoire de la Nouvelle Calédonie.

L'érosion mécanique des sols est une caractéristique naturelle des îles hautes tropicales soumises à de **violentes pluies** (DUMAS, 2004). La Nouvelle Calédonie bénéficie d'un climat « tropical océanique » marqué par une saison chaude et humide (de novembre à avril). Des dépressions évoluent parfois en cyclones tropicaux provoquant de fortes pluies, paramètre principal de l'érosion des sols. De plus, la pression d'autres phénomènes naturels contribue à favoriser l'érosion par la mise à nu de sols protégés par la végétation, comme les **feux** de brousse durant la période sèche, bien que ceux-ci, qui constituent la plus importante cause de dégradation du couvert végétal, sont souvent d'origine intentionnelle (www.foretseche.nc).

La problématique de l'érosion est aussi accentuée par les actions anthropiques conditionnant particulièrement l'utilisation des sols. L'urbanisation des pentes et la construction d'infrastructures qui en découle (réseau routier, aménagements hydrauliques...) n'ont qu'un impact limité sur l'érosion. Il en est de même pour l'**agriculture** avec des conditions naturelles en Nouvelle Calédonie peu favorables à son développement (massifs montagneux, plaines sèches et peu fertiles). Il est toutefois important de noter l'importance de la production vivrière traditionnelle dominée par les tubercules et destinée à l'autoconsommation et aux échanges coutumiers. Ces pratiques s'accompagnent de **défrichements par le feu**, qui, lorsqu'ils ne sont pas maîtrisés, entraînent la destruction de milliers d'hectares de végétation, diminuant ainsi la protection des sols. Mais la cause majeure de l'influence de l'homme dans les phénomènes érosifs réside dans la richesse géologique de la Nouvelle Calédonie qui, possédant un quart des ressources mondiales de Nickel, constitue le troisième producteur mondial de ce métal. L'**exploitation minière** représente la deuxième cause de dégradation des sols (après les feux). Jusqu'au milieu des années 70, faute de réglementation, les compagnies minières brûlaient la végétation lors de leurs opérations de prospection (www.fao.org²) et les résidus stériles étaient stockés sur le site d'extraction ou déversés à même la pente. Lors de forts épisodes pluvieux, ils étaient entraînés le long de la pente, la dégradant fortement (aggravant le phénomène d'érosion naturelle) et formant des ravines, qui entraînaient les sédiments dans les rivières et le lagon du secteur exploité.

² Food and Agriculture Organization of the United Nations

La baie de Saint-Vincent

Présentation de la zone d'étude

La zone d'étude correspond à la Baie de Saint-Vincent. Elle est délimitée par les bassins versants s'étendant sur les communes de Dumbéa, Païta et Boulouparis.

Source : BD Topo DITTT© (1998-2004), DAVAR© (2000)
Auteur : G. LUNEAU, 2006

Datum : RGNC
Projection : Lambert NC

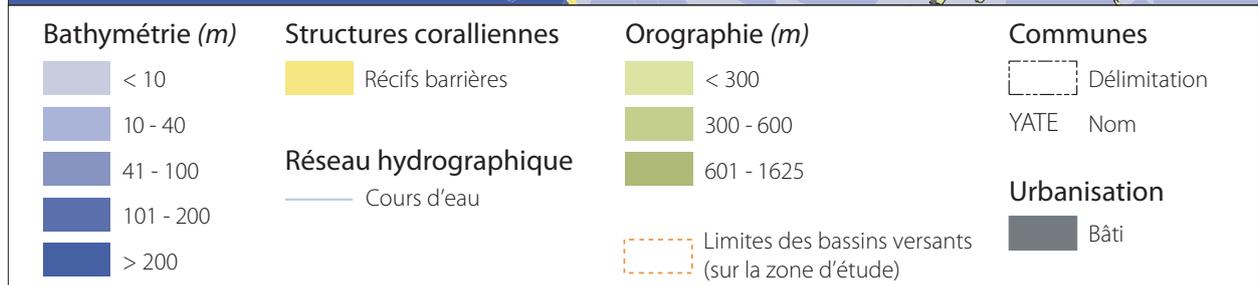
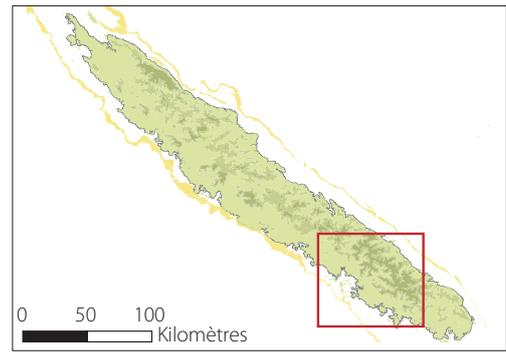


Figure 3 : Carte de situation de la zone d'étude

1.3. Synthèse de la problématique

COMMENT AMELIORER LA SPATIALISATION DE L'ALEA « EROSION HYDRIQUE » SUR LES BASSINS VERSANTS DES COMMUNES DE BOULOUPARIS, PAÏTA ET DUMBEA EN NOUVELLE CALEDONIE ?

- ▶ QUELS PARAMETRES DESCRIPTIFS DE CES PROCESSUS PEUVENT ETRE UTILISES AFIN D'AFFINER LE MODELE COGNITIF D'EROSION REALISE EN 2004 ?

- ▶ COMMENT UTILISER LES SIG ET/OU LES METHODES DE TRAITEMENT D'IMAGE AFIN DE REALISER LES TRAITEMENTS NECESSAIRES SUR LES DONNEES ?

- ▶ QUELLE METHODE DE CROISEMENT DES COUCHES D'INFORMATIONS PERMET D'AFFINER LA SPATIALISATION DE CET ALEA ?

2. METHODOLOGIE

2.1. Cahier des charges et précision des termes utilisés

L'objectif de ce modèle est d'appréhender la problématique de l'érosion par une **approche qualitative** en développant une méthodologie reproductible, permettant d'aboutir à la localisation de zones sensibles à l'érosion.

De nombreux modèles d'érosion existent déjà. Le plus connu est l'**équation universelle de perte en sol** (Universal Soil Loss Equation ou USLE) développée par WISCHMEIER et SMITH en 1978 et révisée en 1997 par RENARD *et Al.* pour constituer le modèle RUSLE (Revised Universal Soil Loss Equation), concernant l'érosion en nappe et en rigoles dans les parcelles agricoles à partir de mesures *in situ*. L'application de cette équation nécessite la mise en œuvre d'une méthodologie lourde et onéreuse, comprenant des campagnes de prélèvements sur le terrain, des analyses chimiques, etc. Cette méthodologie permet d'obtenir des résultats précis concernant la quantification de la perte en terre sur des zones très localisées que sont les parcelles agricoles.

Dans le cadre du stage, l'approche du modèle à déterminer est tout autre. Il s'agit d'appréhender différemment la thématique de l'érosion : la détermination d'une méthodologie reproductible basée sur divers indicateurs de l'érosion (sensibilité au ruissellement, stabilité des sols, protection du couvert végétal...) doit permettre, grâce aux SIG, la **spatialisation** de l'aléa Erosion (ROOSE, DE NONI, 1998), à l'échelle des bassins versants et non plus des parcelles. Il ne s'agit plus ici de connaître les quantités de terres érodées mais d'avoir une connaissance de la répartition de l'aléa érosion sur les bassins versants.

La définition des termes relatifs à la problématique du risque est nécessaire, afin d'éviter toute confusion dans l'interprétation des cartes issues du modèle. Ainsi la notion de **sensibilité** définit les caractéristiques propres à un territoire, indépendamment des phénomènes pouvant effectivement l'affecter (www.ecologie.gouv.fr). La sensibilité des sols à l'érosion dépend donc des propriétés du milieu qui vont engendrer une plus ou moins grande capacité au décrochement des particules terrigènes. La carte issue du modèle d'érosion de P. DUMAS met en évidence cette sensibilité du sol à l'érosion.

Le modèle réalisé dans le cadre de ce stage permet la spatialisation de l'**aléa** Erosion Hydrique, c'est-à-dire que la manifestation d'un phénomène naturel intervenant dans les processus d'érosion des sols, ici les précipitations, s'ajoute à la sensibilité du territoire.

Enfin, le **risque** représente la rencontre de l'aléa avec les enjeux (personnes, biens et activités susceptibles de subir des dommages lorsque survient l'aléa). La notion de risque ne rentre pas dans le cadre de cette étude.

2.2. Paramètres de l'érosion : état de l'art

Pour définir le modèle, une phase bibliographique a permis de comparer plusieurs études traitant de l'érosion des sols. Cette phase a été déterminante pour l'orientation des choix des paramètres à utiliser pour l'élaboration du modèle. Certains choix ont ensuite été validés ou redirigés grâce à la rencontre de plusieurs spécialistes dont, outre M. Pascal DUMAS :

- M. Bernard ROBINEAU, Géologue, IRD,
- M. Pierre MAURIZOT, Géologue, Bureau de la Géologie de la DIMENC³,
- M. Geoffroy WOTLING, Hydrologue, Observatoire de la Ressource en Eau, DAVAR⁴,
- M. Luc MAITREPIERRE, Climatologue, METEO FRANCE.

³ Direction de l'Industrie, des Mines et de l'Energie de Nouvelle Calédonie

⁴ Direction des affaires vétérinaires, alimentaires et rurales.

Le résultat de cette étape est présenté dans le tableau n° 4 ci-dessous :

| FACTEURS | PARAMETRES | INTERET |
|-------------------|---|--|
| Nature du sol | Indice d'érodibilité | L'indice d'érodibilité traduit la susceptibilité des sols à être désagrégés et emportés (DUMAS, 2004). Il est déterminé selon le principe que la sensibilité des sols à l'érosion est d'autant plus forte que la cohésion des matériaux parentaux est faible (LE BISSONNAIS <i>et Al.</i> , 1998). |
| | Sensibilité à la battance | Le phénomène de battance correspond à une dégradation de la structure superficielle des sols entraînant une diminution de l'infiltrabilité et de la rugosité des sols, permettant au ruissellement de provoquer une érosion diffuse (LE BISSONNAIS <i>et Al.</i> , 1998). |
| Occupation du sol | 9 classes en fonction du taux de recouvrement de la végétation | L'occupation du sol, c'est-à-dire la végétation sauvage ou domestique et les implantations humaines, sont des éléments d'interface qui viennent modifier (protéger ou aggraver) l'action des facteurs externes (précipitations) sur les facteurs internes (nature du sol, relief) (MAURIZOT et DELFAU, 1995). |
| | Etat de fonctionnement des mines | La localisation exacte des exploitations minières peut permettre d'évaluer l'impact de cette activité dans les processus d'érosion des sols. De plus, l'état de fonctionnement de ces exploitations donne une indication sur la sensibilité des terrains : les mines abandonnées sont constituées par des terrains nus fortement soumis à l'érosion alors que la présence d'équipements de lutte contre l'érosion dans les mines en fonctionnement diminue la sensibilité du milieu. |
| | Réseau routier | La localisation des pistes, constituées de sols nus, permet une amélioration de la précision de la classification de l'occupation du sol, la résolution des images satellites ne permettant pas toujours de les identifier. |
| Relief | Déclivité de la pente | La pente influence fortement l'importance de l'érosion par son action gravitaire, en fournissant à l'eau son énergie érosive. Ainsi l'érosion augmente avec la pente, le détachement des particules étant lié au carré de la vitesse de l'eau. Les pertes en matériaux terrigènes croissent donc de manière exponentielle avec l'inclinaison de la pente (DUMAS, 2004). |
| | Courbure verticale | La courbure de profil est mesurée dans le plan vertical contenant le gradient d'altitude. C'est donc la courbure des lignes d'écoulements. Elle indique l'accélération ou l'amortissement de la pente. Une courbure de type concave dans ce plan indique une forme qui favorise l'érosion (MAURIZOT et DELFAU, 1995). |
| | Courbure horizontale | La courbure horizontale ou courbure mesurée dans le plan d'orientation constante horizontal, constitue la mesure de la plus ou moins grande ouverture des courbes de niveaux et donc de l'acuité des formes dans ce plan. Une courbure concave indique une vallée marquée où l'érosion est favorisée (MAURIZOT et DELFAU, 1995). |
| | Calcul du réseau hydrographique théorique | La modélisation théorique du drainage à partir du MNT est une donnée essentielle qui apporte des informations continues sur l'ensemble de la surface étudiée, y compris dans les zones où aucune circulation d'eau n'est visible. Le calcul des aires drainées cumulées est primordial puisque la quantité d'eau drainée est directement proportionnelle à la quantité de matières susceptibles d'être enlevées (MAURIZOT et DELFAU, 1995). |
| Climat | Combinaison hauteurs/intensités des précipitations par pondération des hauteurs avec les intensités | La pluie est le principal facteur de l'érosion. Ce sont les fortes précipitations qui provoquent les dégâts érosifs les plus importants. L'érosivité de la pluie dépend essentiellement de sa hauteur et de son intensité (LE BISSONNAIS <i>et Al.</i> , 1998). |

Tableau 4 : Paramètres envisagés pour la constitution du modèle d'érosion (NB : en gras, les critères utilisés par P. DUMAS en 2004)

L'analyse bibliographique a permis de « balayer » les calculs qui pouvaient être réalisés et les informations pouvant être insérées dans le modèle. Nous avons fait, à partir de cette étude, des choix et déduit des paramètres en fonction de leur pertinence par rapport au milieu considéré. Mais la deuxième étape du travail, qui a consisté en la recherche de données disponibles en Nouvelle Calédonie, a été déterminante dans la finalisation de ces choix.

2.3. Inventaire des données disponibles

Durant cette étape, tous les organismes traitant de l'information géographique en Nouvelle Calédonie ont été contactés. Le site Internet du « Géorépertoire⁵ » de Nouvelle Calédonie a constitué la première base de la recherche. Puis, suite à la rencontre des personnes responsables des services concernés et à la signature de différents actes d'engagement, nous avons pu obtenir les données suivantes :

| DONNEES | EMPRISE GEOGRAPHIQUE | ECHELLE / RESOLUTION | SYSTEME GEODESIQUE | ELLIPSOÏDE | PROJECTION | ORGANISME PROPRIETAIRE |
|---|--|----------------------|--------------------|--------------------|--------------|------------------------|
| Données issues du Modèle AURELHY (1991-2000) | Dumbéa Païta Boulouparis Thio | 3 Km | Lat/Lon | / | / | METEO FRANCE |
| Classification de l'occupation du sol Landsat7 (2000-01) | | 30m | IGN 72 | International 1924 | UTM Zone 58S | P. DUMAS, IRD |
| Carte géologique (2005) | | 1/50000 | RGNC | GRS 80 | Lambert NC | DIMENC |
| BD Topo (1998-2004) | | 1/10000 | RGNC | GRS 80 | Lambert NC | DITTT ⁶ |
| MNT partiel (2006) | | 10m | RGNC | GRS 80 | Lambert NC | DTSI ⁷ |
| MNT (2006) | Nouvelle Calédonie | 50m | IGN 72 | International 1924 | UTM Zone 58S | DITTT |
| Classification de l'occupation du sol (SPOT3, 1994-96) | Province Sud | 20m | WGS84 | WGS84 | UTM Zone 58S | DTSI |
| Inventaire des sites dégradés par l'activité minière (2005) | Boulouparis | 1/25000 | RGNC | GRS80 | Lambert NC | DIMENC |
| Cadastre minier (2005) | | 1/25000 | RGNC | GRS80 | Lambert NC | DIMENC |
| Images SPOT5 (2005) | Partie sud de la Grande Terre | 10m | RGNC | GRS80 | Lambert NC | DTSI |

Tableau 5 : Tableau récapitulatif des données récoltées auprès des organismes traitant de l'information géographique en Nouvelle Calédonie

⁵ <http://www.georep.nc/>

Le Géorépertoire est un annuaire des données géographiques calédoniennes. Ce site vise à diffuser une documentation homogène des données spatiales de Nouvelle Calédonie, au travers de fiches de métadonnées mises en ligne par chaque acteur de la géomatique calédonienne.

⁶ Direction des Infrastructures, de la Topographie et des Transports Terrestres

⁷ Direction des Technologies et des Services de l'Information

Nous n'avons donc pas pu récupérer l'intégralité des données nécessaires à la réalisation des couches envisagées au paragraphe **2.2**.

- Les données de pédologie n'existent pas en Nouvelle Calédonie. L'unique carte des sols réalisée sur la Grande Terre a été produite en 1978 à l'échelle 1/1000000^e lors de la réalisation de l'Atlas de Nouvelle Calédonie (LATHAM, 1978). Cette carte n'existe que sous format papier et son échelle ne correspond pas à notre échelle de travail. D'autres cartes, plus récentes et plus précises, ont été réalisées en fonction des besoins pour différents projets. Malheureusement, leurs zones ne correspondent pas aux communes qui nous intéressent. La sensibilité à la battance n'a donc pas pu être déterminée.
- De la même manière, l'inventaire des zones mises à nu sous l'effet de l'exploitation minière est en cours de réalisation par la DIMENC et n'est donc pas disponible actuellement.
- Les images satellite SPOT5 n'ont été transmises qu'en cours de stage. Elles n'ont donc pas pu être utilisées dans les premières phases du travail.

La disponibilité des données a donc contribué majoritairement aux choix des couches d'informations à réaliser pour le modèle d'érosion des sols.

2.4. Une évolution du modèle à plusieurs niveaux

L'étape suivante a consisté en la réalisation technique du modèle. En préambule de la description de cette phase, ce paragraphe résume les choix qui ont été pris pour l'obtention du modèle.

2.4.1. Affinage des indicateurs d'érosion et mise à jour des données

Le modèle d'érosion a pu être amélioré et précisé, principalement à deux niveaux :

- grâce à une étude bibliographique de divers travaux dans ce domaine et aux conseils de différents spécialistes rencontrés sur le territoire, de nouveaux indicateurs d'érosion ont été définis, augmentant ainsi la quantité d'informations croisées,
- de plus, l'inventaire des données disponibles sur la Nouvelle Calédonie a permis, pour les paramètres de 2004, une mise à jour des données utilisées.

| FACTEURS DE L'ÉROSION | DONNEES UTILISEES POUR GENERER LES COUCHES |
|--------------------------------------|--|
| Nature du sol : indice d'érodibilité | Carte géologie 1/50000 |
| Occupation du sol | Classification de P. DUMAS à partir d'images Landsat7 Couche Végétation de la BD Topo, DITTT Classification de la DTSI à partir d'images SPOT3 |
| Localisation des pistes | BD Topo 1/10000 |
| Déclivité de la pente | MNT au pas de 30m |
| Courbure de profil | MNT au pas de 30m |
| Courbure horizontale | MNT au pas de 30m |
| Surfaces drainées cumulées | MNT au pas de 30m |
| Précipitations | Données issues du modèle AURELHY |

Tableau 6 : Récapitulatif des couches d'information utilisées dans le modèle

2.4.2. Croisement des couches par Evaluation Multicritère

La méthode choisie pour le croisement des couches d'informations a elle aussi permis une évolution du modèle. Pour une définition plus fine de l'érosion, nous avons choisi d'utiliser la méthode d'**Evaluation Multicritère**. En effet, cette approche est apte à répondre à des questions amenant des réponses non tranchées (floues) où un ordre de grandeur est précisé à l'aide de substantifs du type : assez grand, grand,

moyen, petit. Elle convient aussi pour les approches de problèmes non linéaires dus à la complexité des paramètres à prendre en compte. La différence fondamentale revient à pondérer chaque facteur et à multiplier la pondération par chaque facteur standardisé avant d'effectuer une sommation donnant directement la lecture de l'évaluation (ROBIN, 2005). Cette méthode présente plusieurs intérêts :

- la conservation du caractère continu de certaines variables permet d'intégrer au modèle le maximum d'informations disponibles,
- l'importance relative de chaque paramètre peut être déterminée par des pondérations,
- enfin, cette méthode permet de ne pas définir un modèle « figé » mais au contraire de pouvoir imaginer différents scénarii et ainsi d'ajuster au mieux le modèle par comparaison des résultats obtenus.

2.4.3. Comparaison multi-scalaire

La possibilité de travailler sur des images à Très Haute Résolution SPOT5 nous a conduit à envisager une comparaison des résultats obtenus à partir de données à différentes échelles. Cette approche multi-scalaire a pour objectif principal de comparer l'effort de précision en amont et la précision des résultats obtenus en sortie. L'application de la même méthode sur des données à résolutions différentes a permis de définir si la méthode était sensible à la qualité des données d'origine.

2.4.4. Des pistes de travail pour une évolution vers un modèle dynamique

Dans une dernière phase, la méthode statistique a été testée pour croiser les couches du modèle d'érosion. Plusieurs régressions linéaires ont été réalisées permettant d'établir une relation purement mathématique entre les huit paramètres choisis de l'érosion des sols. Cette méthodologie pourrait être considérée comme la dernière étape de travail à envisager pour une ultime optimisation du modèle. En effet, le couplage de la méthode statistique, simple à mettre en œuvre, aux connaissances des experts pourrait aboutir à la mise en place d'un outil dynamique, intégrant les données en temps réel et automatisant les manipulations.

3. REALISATION DES COUCHES DU MODELE D'EROSION DES SOLS

3.1. Homogénéisation des données

Les données transmises ont été fournies dans la majorité des cas dans le système de projection Lambert NC du système géodésique RGNC91 (Réseau Géodésique de Nouvelle Calédonie). Ce réseau, défini depuis 1991, est unique à la fois sur la Grande Terre, les Iles Loyauté et l'ensemble de la zone économique de Nouvelle Calédonie. Il est amené à remplacer tous les réseaux antérieurs. Les coordonnées des points de ce réseau sont exprimées dans le système géodésique de référence mondiale ITRF90 (Cf. ANNEXE III : Récapitulatif des systèmes géodésiques utilisés en Nouvelle Calédonie).

Nous avons donc décidé de poursuivre cette tendance en transformant les données antérieures en RGNC-Lambert NC. Certains problèmes de conversion ont pu être résolus grâce à l'aide de M. Gilles LECONTE, Géomaticien du Bureau de la Cartographie de la DITTT. En effet, un décalage constant avec certaines données nous a permis de mettre en évidence une erreur : certaines données étaient correctement géoréférencées, mais le système géodésique spécifié était incorrect (WGS84-UTM58S au lieu de IGN72-UTM58S). Les données concernées présentaient donc un décalage permanent lors de leur projection dans ArcGIS. Il a donc fallu spécifier le système géodésique correct IGN72, puis les données ont pu être reprojeterées en RGNC-Lambert NC.

3.2. Réalisation des couches d'informations

Une fois la totalité des données disponibles récoltées et homogénéisées, les différentes couches d'informations intervenant dans le modèle d'érosion ont été réalisées par divers traitements sur ArcGIS 9.0 et ERDAS Imagine 8.4.

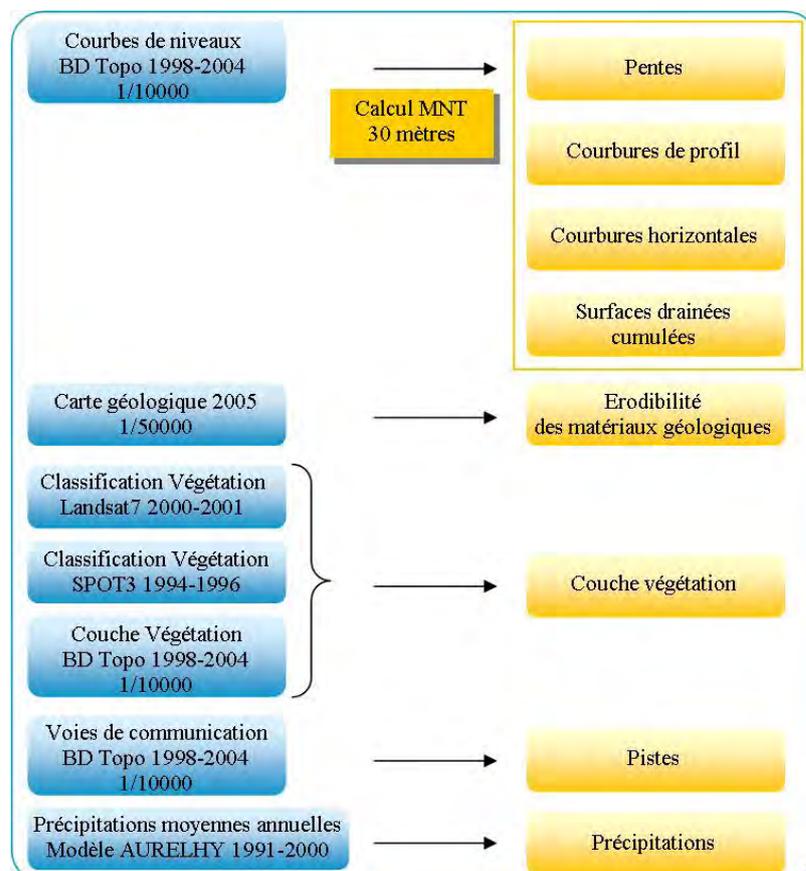


Figure 4 : Schéma récapitulatif des couches réalisées pour le modèle

3.2.1. Relief

Le relief est la source de données la plus riche concernant les processus d'érosion. L'utilisation d'un Modèle Numérique de Terrain est indispensable pour pouvoir intégrer finement les formes du bassin versant (GUERMOND, 2005).

La résolution spatiale du MNT mis à notre disposition par la DITTT est de 50m. Pour pouvoir croiser par la suite toutes les couches d'informations dans le modèle d'érosion, l'ensemble des rasters doit avoir la même taille élémentaire de pixel. C'est pourquoi un rééchantillonnage était nécessaire pour obtenir des données compatibles avec la classification de l'occupation du sol issue d'images satellites Landsat7 (pixel de 30x30m).

Disposant des courbes de niveaux de la BDTopo de la DITTT au pas de 10m, nous avons préféré générer un MNT au pas de 30m à partir de celles-ci plutôt que de rééchantillonner le MNT 50m à un pas de 30m. Ceci a permis de limiter le nombre d'interpolations et les imprécisions qui en découlent. Cette démarche se justifie d'autant plus que plusieurs couches d'informations, utilisées dans le modèle d'érosion, ont été calculées à partir du MNT.

Plusieurs méthodes ont été testées pour la réalisation du MNT au pas de 30 mètres :

- La fonction Topo To Raster (Extension 3D Analyst) réalise des MNT à partir de plusieurs couches dont les courbes de niveaux. Cependant, cette méthode a présenté des imprécisions d'interpolations, notamment pour des valeurs d'altitudes proches de zéro : le résultat obtenu montrait des altitudes négatives.
- La **méthode IDW** (Inverse Distance Weight) a donc été utilisée pour interpoler un fichier de points extraits des courbes de niveau. Le MNT obtenu est présenté dans la figure 8 ci-dessous et les manipulations réalisées pour sa construction sont présentées en ANNEXE VII.

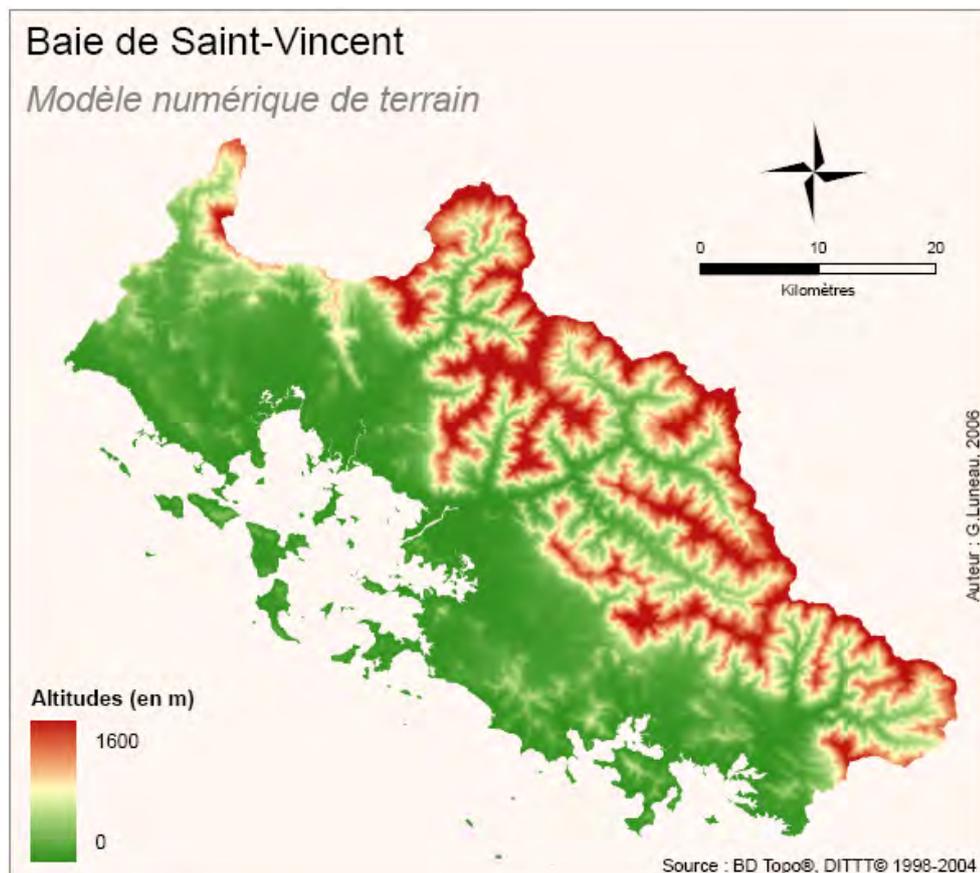


Figure 5 : Présentation du Modèle Numérique de Terrain dans la Baie de Saint-Vincent

Plusieurs variables ont été calculées à partir des valeurs du MNT. Elles peuvent être regroupées en deux catégories :

- les variables issues de dérivés successives de l'altitude : la **pente**, donnée essentielle dans les phénomènes d'érosion, qui correspond à la dérivée première de l'altitude, et la **courbure**, traduisant la caractère convexe ou concave d'une surface déformée, qui correspond à la dérivée de la pente, soit la dérivée seconde de l'altitude,
- les variables utilisées dans les extractions et la modélisation des réseaux de drainage dont le calcul des **surfaces drainées cumulées** réalisé ici.

3.2.1.1. *Calcul des pentes*

La pente est certainement le paramètre le plus important concernant les phénomènes d'érosion, de par son action gravitaire et son impact sur les matériaux détritiques (DUMAS, 2004).

La carte des pentes a été obtenue grâce à la fonction Pente de l'extension 3D Analyst d'ArcGIS 9.0.

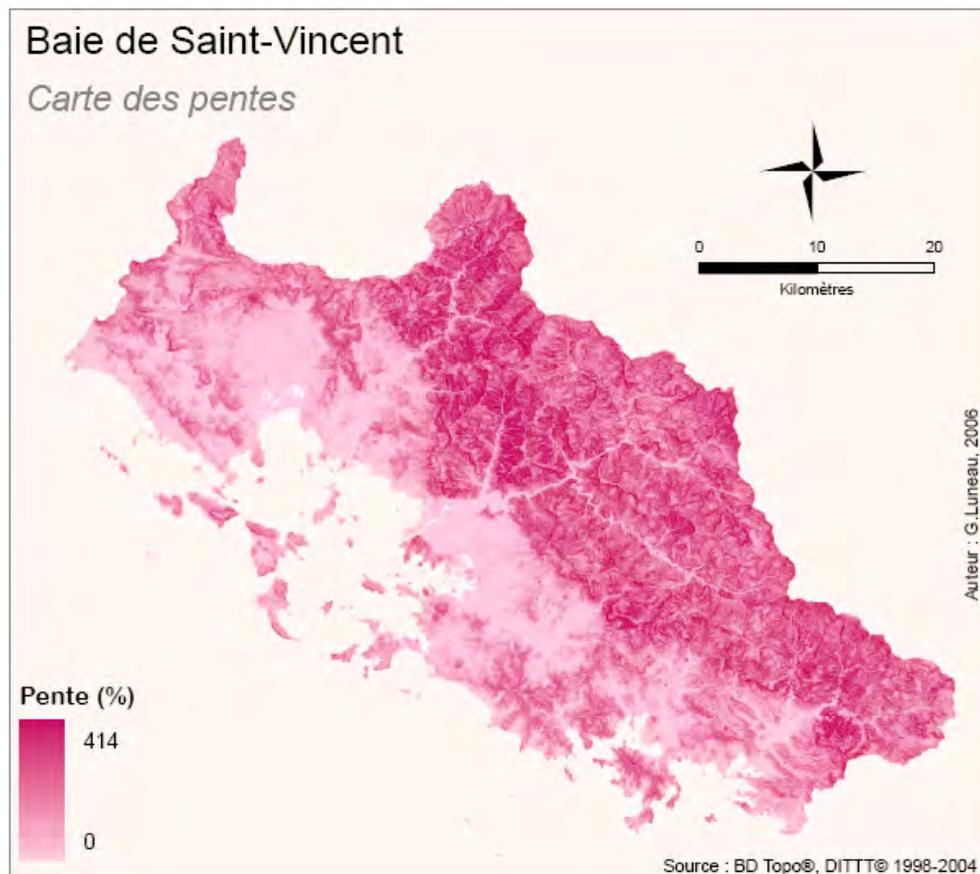


Figure 6 : Déclivité de la pente dans la Baie de Saint-Vincent

3.2.1.2. *Calcul de la courbure*

La courbure de pente est calculée par la dérivée de la pente. Elle peut être utilisée pour décrire les caractéristiques morphologiques des bassins versants intervenant dans l'érosion et les processus d'écoulements en désignant le caractère convexe ou concave d'une surface.

La courbure est calculée dans différents plans, à partir du MNT avec l'extension 3D Analyst d'ArcGIS 9.0. Dans chaque cas, elle indiquera une information différente :

- La **courbure mesurée dans le plan horizontal** correspond à la mesure de la plus ou moins grande ouverture des courbes de niveaux. Des valeurs positives indiquent des zones convexes favorisant la dispersion des écoulements alors que des valeurs négatives témoignent de la présence de vallées très marquées où l'érosion est facilitée.

- La **courbure de profil** correspond à la courbure mesurée dans un plan vertical réorienté systématiquement en fonction de la direction du gradient d'altitude (direction empruntée par les fluides). Les valeurs négatives indiquent une pente qui diminue le long du profil et donc une zone concave où l'érosion est facilitée.

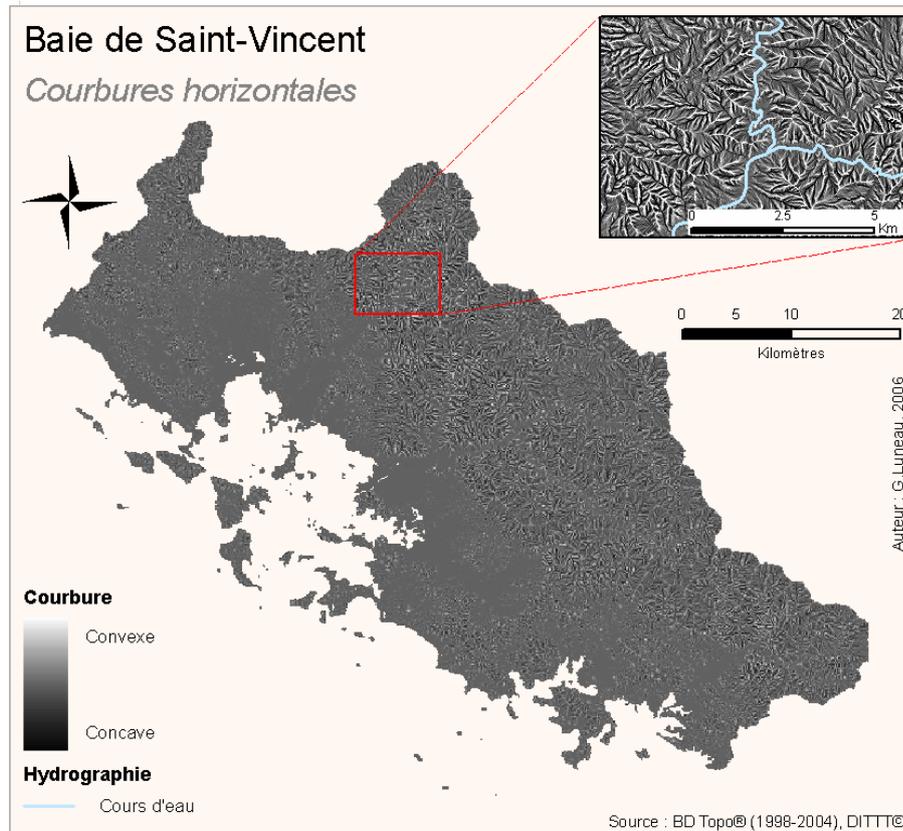


Figure 7 : Courbures horizontales dans la Baie de Saint-Vincent

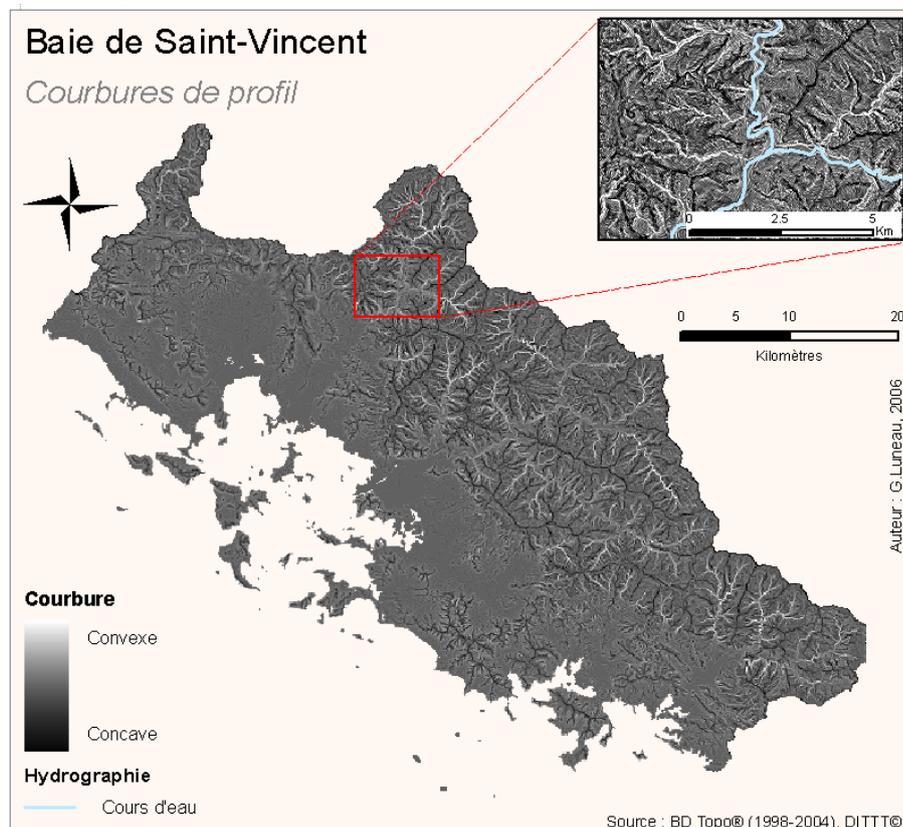


Figure 8 : Courbures de profil dans la Baie de Saint-Vincent

3.2.1.3. Calcul des surfaces drainées cumulées

La présence d'un réseau hydrographique, et plus particulièrement la connaissance des surfaces drainées par celui-ci, est un paramètre important pour évaluer la sensibilité des sols au ruissellement (MAURIZOT et DELFAU, 1995).

Le calcul d'un réseau hydrographique théorique présente l'avantage d'apporter des informations continues, y compris aux endroits où la circulation n'est pas visible. Cependant, il faut être conscient de ses limites car il suppose un écoulement instantané ne tenant pas compte des interactions avec le sol, la végétation... (Cette limite sera compensée par le croisement avec les couches d'occupation du sol et de la géologie).

L'extraction du réseau hydrographique théorique a été réalisée à partir du module Hydrologie de l'extension Spatial Analyst d'ArcGIS 9.0. Le principe est de calculer les surfaces drainées cumulées : pour chaque cellule, on détermine la cellule voisine de plus basse altitude (dans une maille 3x3) dans laquelle l'eau va s'écouler et ainsi de suite pour chaque maille. En incrémentant à chaque fois d'une valeur de 1, le résultat obtenu est une image dont chaque pixel indique le nombre de pixels situés en amont qui sont venus s'écouler dans cette cellule aval. Le détail de la manipulation est présenté en ANNEXE VIII.

Le réseau hydrographique peut alors être extrait de ce raster. Pour cela, un seuil doit être défini, correspondant à la surface drainée minimale conduisant à la formation d'un réseau. Nous avons considéré, suite aux conseils de G. WOTLING, qu'à partir d'une surface drainée de **0,125 Km²** (soit 140 pixels), le réseau hydrographique généré avait une influence réelle sur l'érosion des sols.

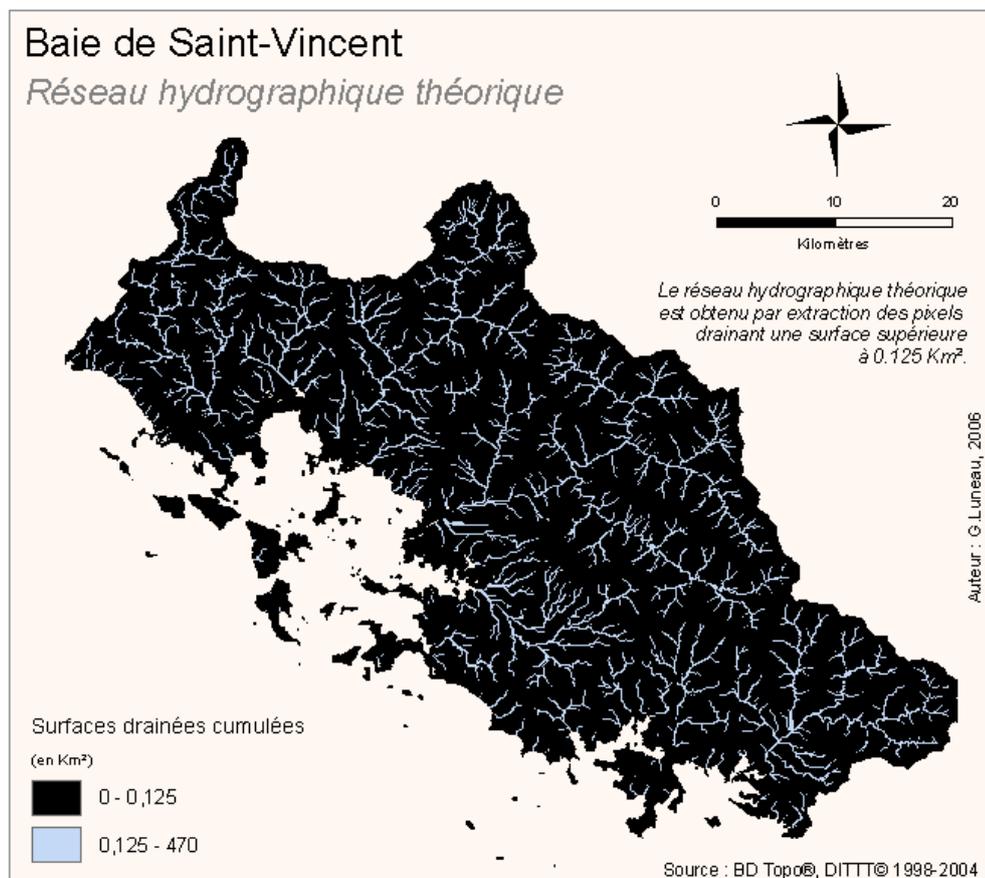


Figure 9 : Extraction du réseau hydrographique théorique dans la Baie de Saint-Vincent

3.2.2. Nature du sol

La nature des sols est un paramètre majeur dans l'érosion puisque l'arrachement des particules dépend directement des propriétés du sol et du sous-sol. Les données concernant la pédologie n'existant pas sur la zone de Boulouparis/Dumbéa/Païta, un seul paramètre a pu être calculé : l'**indice d'érodibilité**, défini à partir de la carte géologique⁸ au 1/50000^e (MAURIZOT, SCHMITT, VENDE-LECLERC, 2005).

La carte distinguant plus de 90 classes géologiques, un reclassement a été réalisé, en suivant la même logique que Pascal DUMAS lors de sa thèse. Ainsi, un indice d'érodibilité allant de 1 (peu érodable) à 10 (fortement érodable) a été attribué à chaque formation géologique (substrat ou formation superficielle). L'attribution de cet indice prend en compte plusieurs composantes comme la dureté, le caractère friable, etc. et ne peut donc se faire qu'« à dire d'experts », c'est-à-dire sur avis de spécialistes ayant une très bonne connaissance du terrain. C'est pourquoi cette classification a été réalisée grâce aux conseils de Violaine CHEVILLOTTE, Post-Doctorante en Géologie (IRD) et de Pierre MAURIZOT, Géologue (Direction de l'Industrie, des Mines et de l'Energie). Le reclassement de l'ensemble des polygones s'est effectué dans une géodatabase sous ACCESS (Cf. ANNEXE IV : *Classement des formations géologiques en fonction de leur érodibilité*).

La manipulation d'obtention de la couche est présentée en ANNEXE V. Le résultat obtenu (Cf. *Figure ci-après*) montre une dichotomie entre la zone littorale, globalement plus érodable constituée de formations fluviatiles et littorales (alluvions, gravillons...) et la zone centrale constituée en majorité de matériaux durs et correspondant au massif des péridotites.

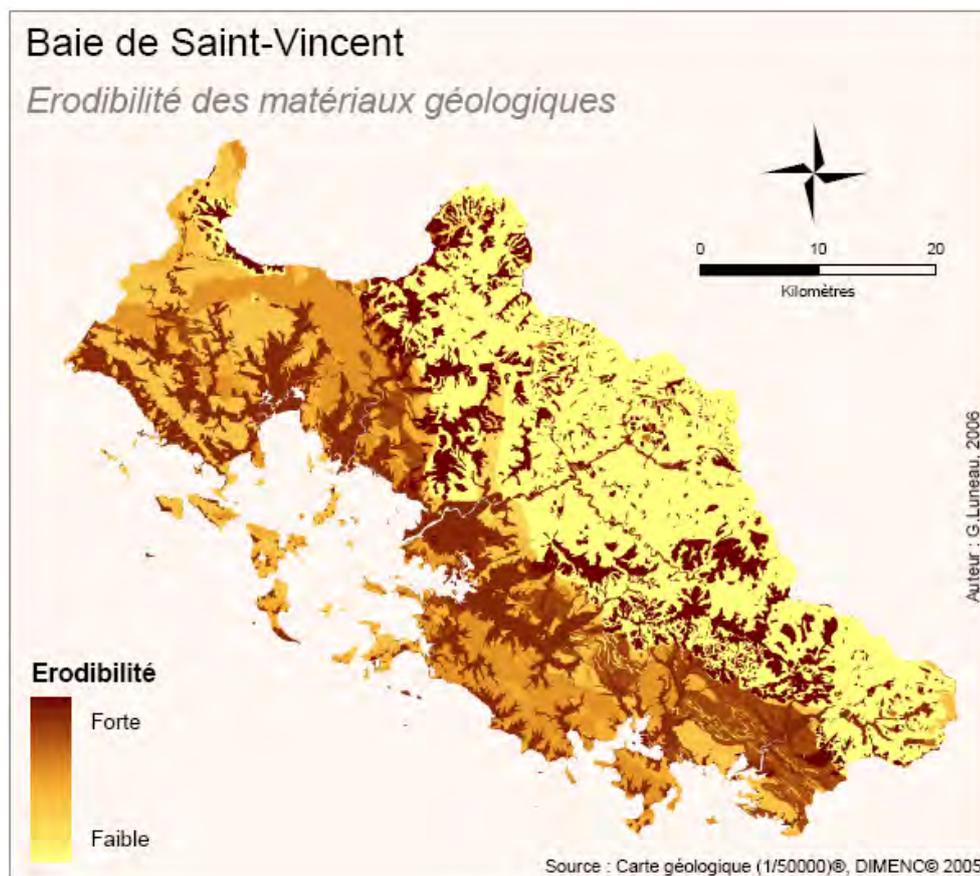


Figure 10 : Erodibilité des matériaux géologiques dans la Baie de Saint-Vincent

⁸ MAURIZOT P., SCHMITT C., VENDE-LECLERC M., 2005, Harmonisation de la couverture cartographique géologique numérique de la Nouvelle-Calédonie – Phase 4, Rapport BRGM RP-54 117-FR

3.2.3. Occupation des sols

L'occupation du sol représente une information importante à prendre en compte dans l'étude des processus érosifs puisqu'elle conditionne le degré de protection des sols, notamment par l'intermédiaire du type de végétation présent et de son taux de recouvrement.

3.2.3.1. Classification du degré de protection de la végétation

La réalisation de la couche d'occupation du sol a consisté en une combinaison de plusieurs données. La disponibilité de différentes données caractérisant la végétation sur la zone d'étude nous a permis d'étudier les avantages et inconvénients de chacune (Cf. Tableau n°7 ci-après) et de faire des choix afin d'obtenir la meilleure couche d'information possible.

| DONNEE | Classification de la végétation | Classification de la végétation | Couche Végétation 1/10000 ^e |
|---------------------|---|--|---|
| SOURCE | P. DUMAS, IRD (2004) | DTSI (2003) | DITTT (1998-2004) |
| MODE DE REALISATION | Classification supervisée à partir d'images Landsat7 (2000-2001) | Classification à partir d'images SPOT3 (datant de 1994 à 1996) basée sur un calcul du NDVI | Cartographie au 1/10000 ^e |
| ETENDUE | Zone d'étude | Grande Terre | Province Sud (partielle) |
| RESOLUTION | 30m | 20m | / |
| TYPOLOGIE | Sol nu Sol nu de mangrove Mangrove clairsemée Mangrove dense Savane herbeuse Savane arbustive/arborée Maquis clairsemé Maquis dense Forêt dense | Sol nu Sol nu de mangrove Mangrove clairsemée Mangrove dense Broussaille Savane Maquis minier clairsemé Maquis minier dense Végétation dense | Broussaille Bosquet Plantation Cocoteraie Verger Savane arborée Maquis minier Forêt humide Forêt sèche Bois |
| AVANTAGES | ► Bonne représentation de la densité du couvert végétal | ► Bonne représentation de la densité du couvert végétal | ► Identification des zones de cultures (vergers et plantations) |
| INCONVENIENTS | ► Présence de zones couvertes par les nuages et donc inexploitable | ► La mosaïque laisse apparaître des discontinuités non négligeables entre les classifications de chaque image (BOYEAU, 2005). | ► La restitution effectuée par des sous-traitants différents laisse apparaître des disparités entre les zones traitées. ► Les limites des zones de forêt ne sont pas forcément cohérentes entre les différentes zones traitées : certaines zones paraforestières ont été assimilées aux zones de forêt, ce qui surestime le degré de protection des sols sur ces zones (BOYEAU, 2005). |

Tableau 7 : Principales caractéristiques des données de végétation sur la zone d'étude

La classification réalisée à partir des images Landsat7 par P. DUMAS lors de sa thèse a été conservée et les manques d'informations dus à la présence de nuages ont été comblés par deux types de données :

- couche Végétation de la BD Topo de la DITTT,
- classification de la DTSI à partir des images SPOT3.

La préférence pour la couche de la DITTT concernant le rajout d'informations s'explique par sa plus grande précision mais aussi son caractère plus récent par rapport à la donnée de la DTSI (Y-E. BOYEAU, 2005). De plus, la BD Topo de la DITTT distingue les zones de cultures (vergers et plantations). Ces zones sensibles à l'érosion n'avaient pas pu être extraites par P. DUMAS à partir des images Landsat7. Les zones de cultures ont donc été rajoutées à la classification. L'ANNEXE VI présente les différentes étapes qui ont conduit à l'obtention de cette couche.

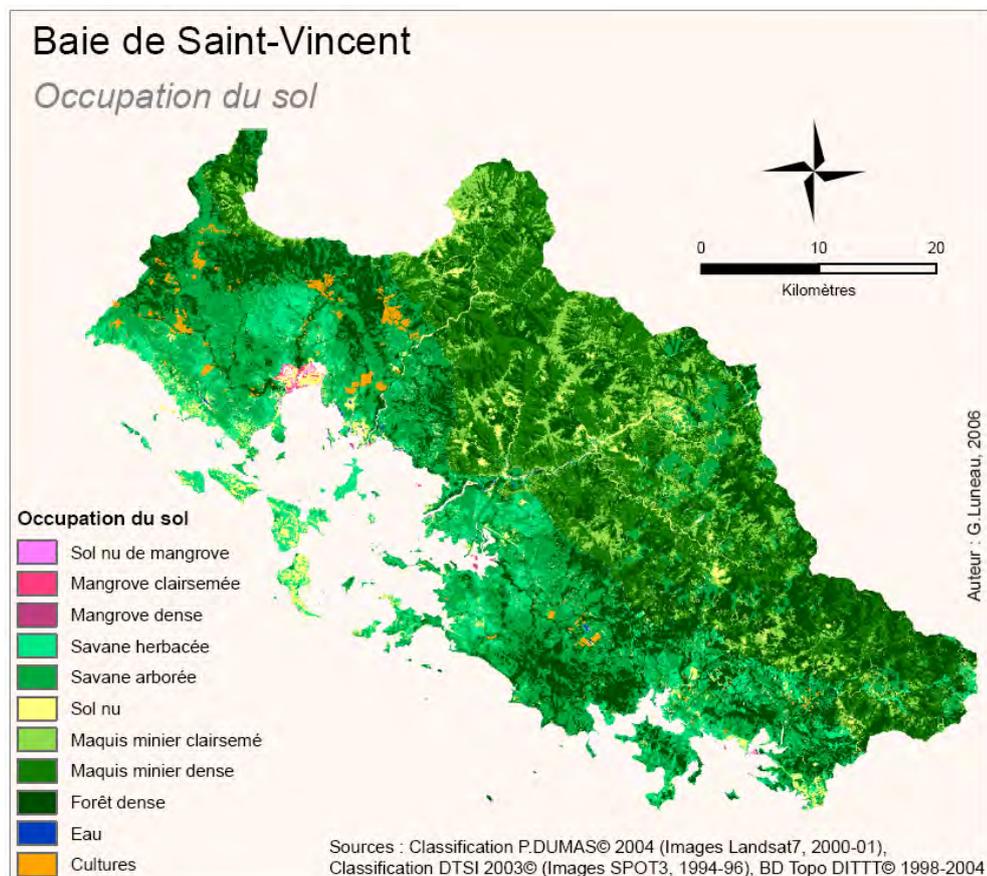


Figure 11 : Carte de l'occupation du sol dans la Baie de Saint-Vincent

3.2.3.2. Extraction des pistes non revêtues

Les pistes créées par l'action de l'homme (prospection et activité minières) représentent autant de sol mis à nu et donc très sensible aux processus d'érosion. Cette information a été extraite de la couche « Voie » de la BD Topo de la DITTT.

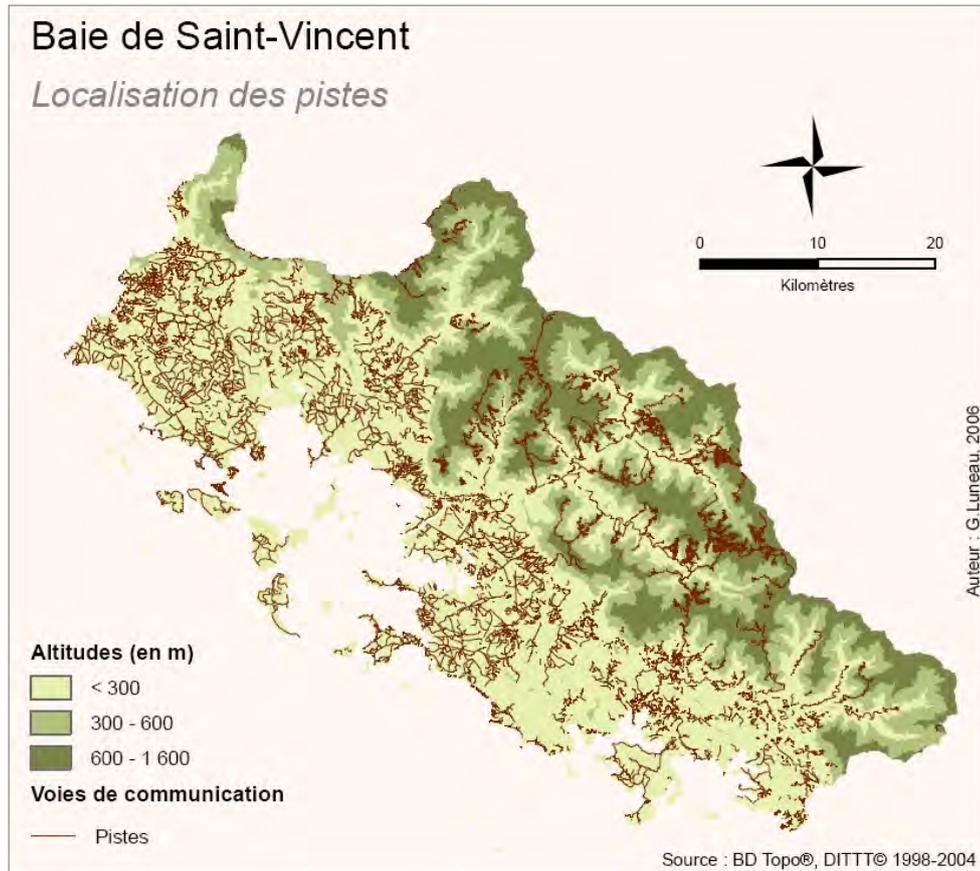


Figure 12 : Localisation des pistes dans la Baie de Saint-Vincent

3.2.4. Climat

La pluie est le principal facteur de l'érosion. L'érosion des sols se développe lorsque les eaux de pluie, ne pouvant plus s'infiltrer dans le sol, ruissellent en emportant des particules de terre (LE BISSONNAIS et Al., 2002).

Les données de précipitations fournies par Météo France (Précipitations moyennes annuelles pour la période 1991 – 2000) sont issues du modèle AURELHY. Cette méthode d'analyse utilise le relief en définissant, pour chaque point de mesure, son « paysage » environnant associé (BENICHO, LE BRETON, 1986). Les données se présentent sous la forme d'une grille de points distants de 3 Km.

Le modèle d'érosion nécessitant l'utilisation de couches raster continues, les données ponctuelles fournies par Météo France ont dues être interpolées. Les valeurs tenant déjà compte du relief dans le modèle AURELHY, l'utilisation d'une méthode d'interpolation simple a été préconisée. De plus, les données, espacées de 3 Km, ne présentaient pas de précision suffisante pour justifier une méthode d'interpolation spécifique.

Plusieurs méthodes ont été testées sous ArcGIS et les résultats obtenus n'ont pas présenté de différences majeures. Nous avons décidé de conserver la couche obtenue par la méthode du Krigeage. Le détail de la manipulation réalisée est présentée en ANNEXE IX.

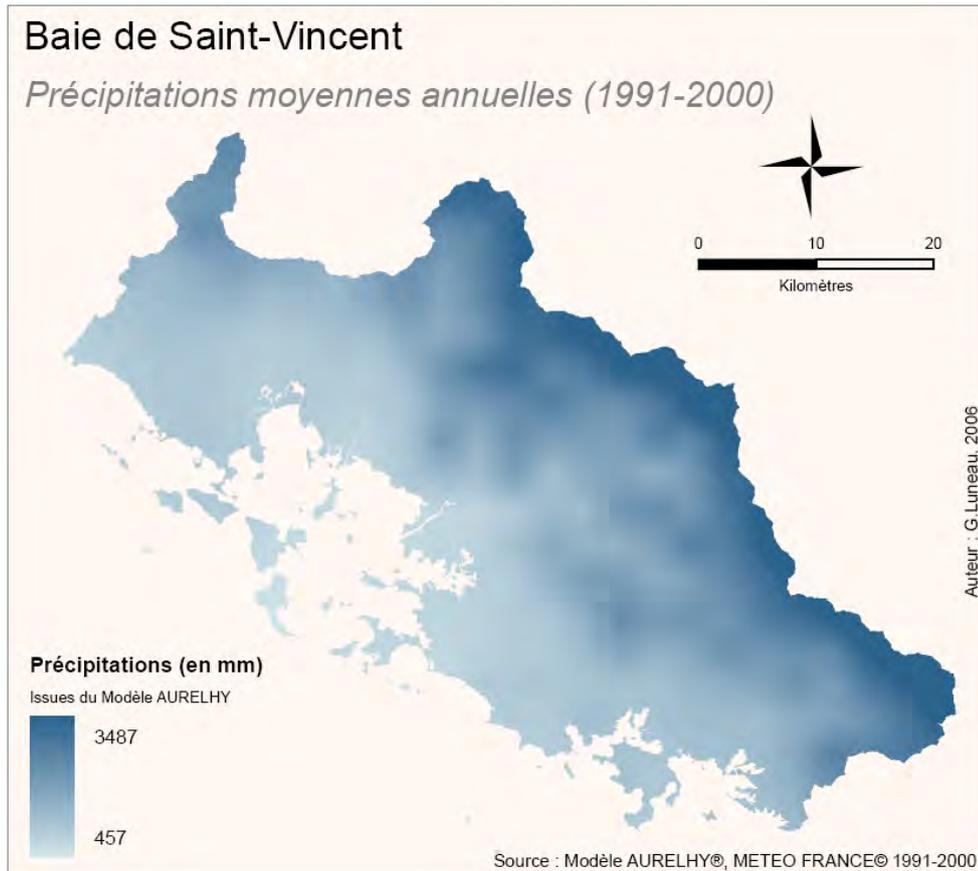


Figure 13 : Précipitations moyennes annuelles (1991-2000) dans la Baie de Saint-Vincent

4. MISE EN PLACE D'UN MODELE STATIQUE PAR EVALUATION MULTICRITERE

Une fois la totalité des couches d'informations réalisée, la procédure d'évaluation multicritère a pu être lancée, dans le but de spatialiser l'aléa « érosion hydrique » des sols sur les bassins versants des communes de Dumbéa, Païta et Boulouparis.

L'approche multicritère suit le cheminement suivant (ROBIN, 2005) :

- Suite à l'étude du problème et à l'identification des critères, une phase de standardisation des facteurs est nécessaire, afin d'assigner une valeur à ces critères. Pour cela, plusieurs types de fonctions peuvent être utilisées (linéaire, sigmoïde, exponentielle). A chaque niveau d'information doit correspondre une réflexion sur la meilleure méthode de standardisation destinée à faire ressortir l'essentiel de l'information disponible et son adaptabilité à la réalité.
- La détermination des pondérations de chaque critère a pour objectif de hiérarchiser par ordre d'importance les facteurs. Elle est réalisée empiriquement par une bonne connaissance des facteurs entrant en jeu.
- L'établissement d'un lien entre les critères et les poids peut être effectué selon plusieurs méthodes. La plus simple à mettre en œuvre est la Combinaison Linéaire Pondérée CLP (ou « Weighted Linear Combination », WLC), dont l'algorithme est le suivant :

$$E = \sum P_i \cdot S_i$$

Avec : E = Evaluation,

P_i = Poids du facteur i,

S_i = Valeur du facteur i standardisé.

- Enfin, l'interprétation de la carte d'évaluation montre une gradation du processus étudié.

Sous Idrisi Kilimanjaro, la méthode d'évaluation multicritère est appliquée en suivant les étapes de l'assistant d'aide à la décision « **Decision Wizard** » du Menu GIS Analysis, créé pour faciliter l'utilisation des modules FUZZY, MCE, WEIGHT, RANK et MOLA (chaque module peut aussi être utilisé indépendamment).

4.1. Intégration des couches

Ce type de procédure peut se baser sur deux types d'informations :

- Les contraintes : ce sont des critères booléens qui limitent l'analyse géographique à certaines zones. Ces critères déterminent de manière binaire l'aptitude ou non du terrain à l'objectif recherché.
- Les facteurs : ces critères n'agissent pas de manière absolue mais interviennent sur la décision finale en déterminant des degrés d'aptitudes pour l'objectif fixé.

Dans notre cas, l'objectif final étant de spatialiser l'aléa érosion, aucune contrainte booléenne n'existe. Les huit couches réalisées précédemment seront donc introduites dans cette évaluation sous forme de facteurs.

4.2. Standardisation des couches

Pour pouvoir être croisées, les différentes couches constituant le modèle doivent être définies sur une même échelle de grandeurs allant de 0 (valeur la moins apte pour l'objectif fixé, ici l'aléa érosion des sols) à 255 (valeur la plus apte). Cette étape, réalisée grâce au module FUZZY, consiste à définir, pour chaque facteur, la manière dont la standardisation doit être effectuée c'est-à-dire la manière dont les valeurs doivent être réparties sur l'échelle d'aptitude. Il suffit, pour chaque facteur de choisir le type (croissant, décroissant

ou symétrique) et la forme (linéaire, sigmoïde ou exponentielle) de la fonction à utiliser, puis de préciser la valeur des points de contrôles demandés dans l'interface, permettant de définir des seuils.

4.2.1. Facteur 1 : Surfaces drainées cumulées

Le calcul des surfaces drainées cumulées permet de mettre en évidence, pour chaque pixel, la surface en amont parcourue par l'eau venant s'écouler dans ce pixel. Plus les surfaces drainées sont importantes, plus la quantité d'eau ruisselant sur le sol dans le pixel en question est importante, augmentant le risque d'arrachement des particules. La potentialité d'arrachement des particules de sol augmente de manière linéaire avec l'importance des surfaces drainées cumulées.

Cependant, selon Geoffroy WOTLING, hydrologue de l'Observatoire de la Ressource en Eau de la DAVAR de Nouméa, on peut considérer qu'un réseau hydrographique joue véritablement un rôle dans l'érosion à partir d'une surface drainée de 0.125 Km² (ce qui correspond à une surface de 140 pixels). Le seuil minimal est donc fixé à 140 pixels, précisant ainsi qu'en dessous de cette valeur, le drainage de l'eau n'est pas considéré comme suffisant pour participer de manière significative au processus d'érosion des sols.

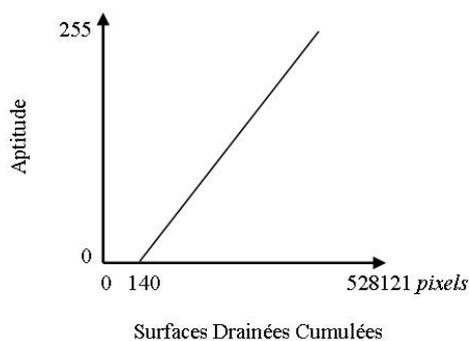


Figure 14 : Standardisation du facteur Surfaces Drainées Cumulées

4.2.2. Facteur 2 : Précipitations

D'après LE BISSONNAIS *et Al.*, l'érosivité de la pluie dépend de sa hauteur et de son intensité. Les données issues du modèle AURELHY de METEO FRANCE correspondent aux hauteurs moyennes annuelles pour la période 1991-2000. Cependant, nous pouvons considérer que, sur une période de plusieurs années, les hauteurs de précipitations sont corrélées avec les intensités des événements pluvieux (d'après G. WOTLING).

Nous savons que l'érosion des sols est favorisée par les précipitations. Plus les précipitations sont importantes, plus leur impact sur l'érosion des sols augmente. La fonction utilisée pour standardiser ce facteur est de forme exponentielle, les pertes en matériaux terrigènes croissant de manière exponentielle avec l'inclinaison de la pente (DUMAS, 2004). De plus, aucun seuil de contrôle n'a été défini ici.

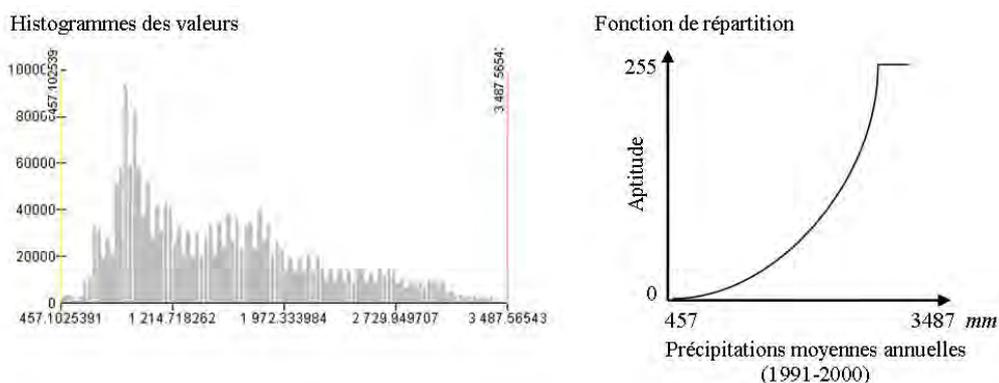


Figure 15 : Standardisation du facteur Précipitations

4.2.3. Facteur 3 : Courbure horizontale

La courbure horizontale, représentant la courbure d'un versant dans le plan perpendiculaire à la pente, favorise de manière linéaire l'érosion des sols : plus les pentes présentent une courbure transversale concave importante, plus les écoulements seront concentrés. L'énergie érosive de l'eau sera maximale sur ce type de versant, favorisant ainsi l'érosion.

Le calcul de courbure dans ArcGIS indique la concavité d'une surface par une valeur négative, la convexité par une valeur positive, une surface plane par une valeur nulle. La fonction utilisée est donc de type linéaire décroissante : en effet, l'aléa érosion diminue au fur et à mesure de l'augmentation de la valeur de la courbure. Des valeurs seuils ont été fixées de manière à réaliser la standardisation sur un intervalle de valeurs allant de -4 à +3,35. En effet, l'analyse de l'histogramme des valeurs permet de constater la concentration des valeurs à l'intérieur de cet intervalle.

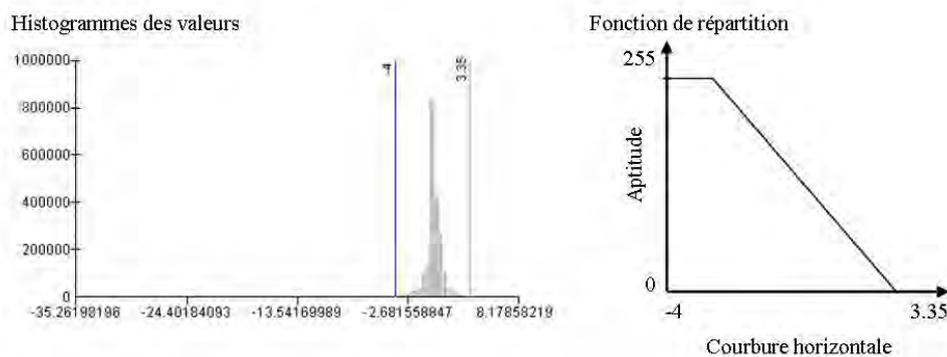


Figure 16 : Standardisation du facteur Courbures horizontales

4.2.4. Facteur 4 : Courbure de profil

La courbure de profil représente la courbure d'un versant dans le sens de la pente. Plus les versants présentent une courbure concave prononcée, plus la vitesse des écoulements est accélérée et l'énergie érosive de l'eau augmentée.

De la même manière que pour la courbure horizontale, une valeur négative correspond à une surface concave, une valeur positive indique une surface convexe et une valeur nulle indique une surface plane. La fonction choisie est donc linéaire décroissante. Les valeurs seuils minimales et maximales ont été déterminées en fonction de l'histogramme des valeurs : la très grande majorité des valeurs est comprise dans l'intervalle allant de -3,5 à +3.

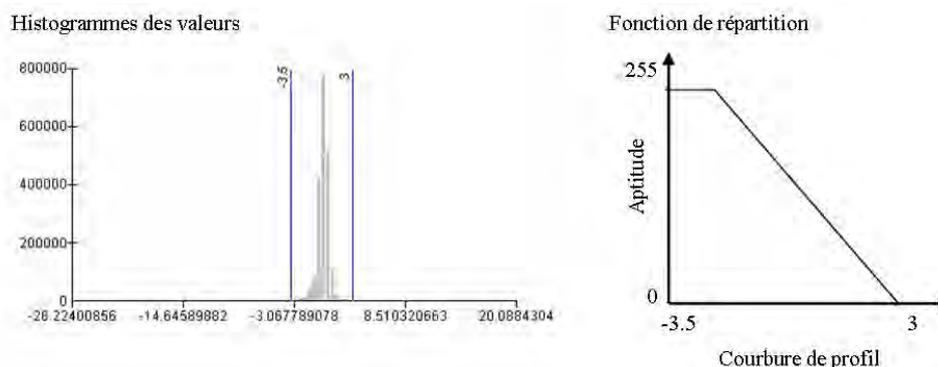


Figure 17 : Standardisation du facteur Courbures de profil

4.2.5. Facteur 5 : Erodibilité des matériaux géologiques

Suite à une re-classification de la carte géologique de la DIMENC, dix niveaux d'érodibilité ont été définis, allant de 1 (matériaux peu érodables) à 10 (matériaux très sensibles à l'érosion). La fonction utilisée pour la répartition des valeurs sur l'échelle standard est donc linéaire croissante. Aucune valeur seuil n'a été définie.

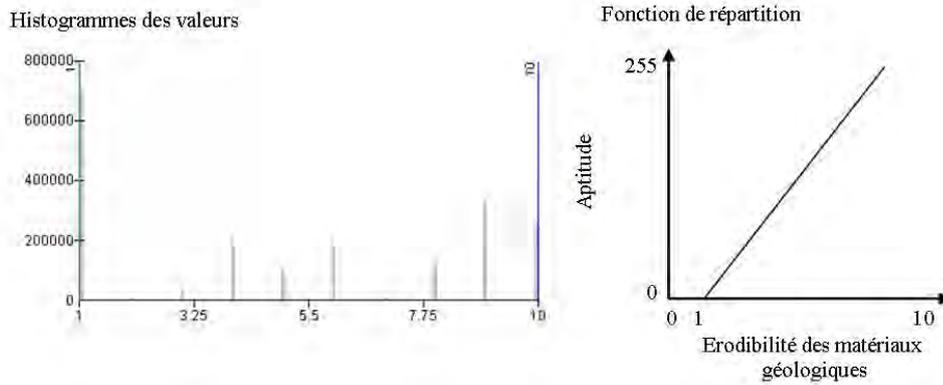


Figure 18 : Standardisation du facteur Erodibilité des matériaux géologiques

4.2.6. Facteur 6 : Occupation du sol

Les classes obtenues suite aux traitements effectués sur la classification issue d'images Landsat7 ont été recodées sous Idrisi. Cette hiérarchisation permet de disposer de 10 classes d'occupation du sol, ordonnées en fonction de leur protection vis-à-vis de l'érosion. Les classes vont de 1 (forêt dense, très forte protection des sols vis-à-vis de l'érosion) à 10 (sol nu, très sensible à l'érosion). Les sols nus étant beaucoup plus soumis à l'érosion que toutes les autres classes, un recodage a permis d'accentuer cette différence : les sols nus de mangroves ont été recodés en 14 et les autres sols nus en 15. De plus, la fonction de répartition utilisée est de forme exponentielle, permettant ainsi de faire ressortir un maximum de différences.

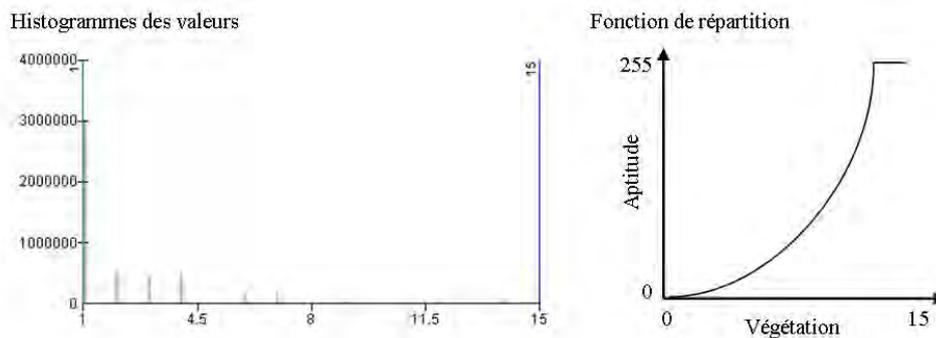


Figure 19 : Standardisation du facteur Occupation du sol

4.2.7. Facteur 7 : Pentes

Plus la pente est forte, plus les sols sont soumis à une érosion importante. La fonction utilisée est donc croissante et de type exponentiel. De la même manière que pour les courbures, l'étude de l'histogramme des valeurs a été nécessaire pour définir au mieux les modalités de standardisation de ce facteur. Ainsi un seuil maximal a été fixé à 125%. Nous considérerons donc qu'au delà de 125%, l'augmentation de la pente n'aura pas plus d'influence sur les processus d'érosion des sols.

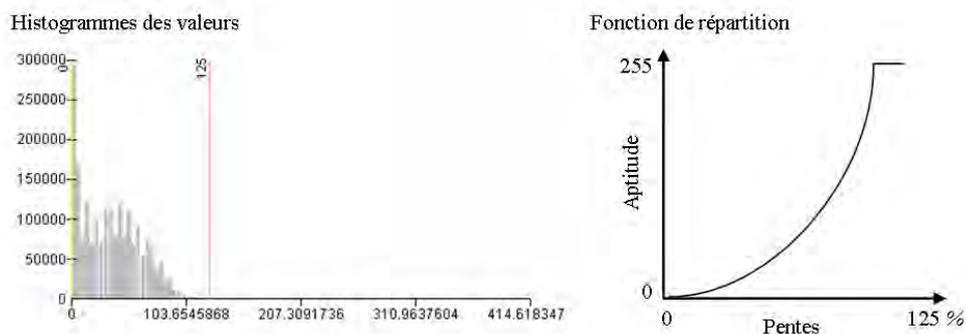


Figure 20 : Standardisation du facteur Pentas

4.2.8. Facteur 8 : Pistes

Les pistes non revêtues constituent des zones mises à nu sensibles à l'érosion. Elles ont été extraites de la BD Topo de la DITTT. Leur présence indique donc un risque d'érosion plus important que sur des zones revêtues.

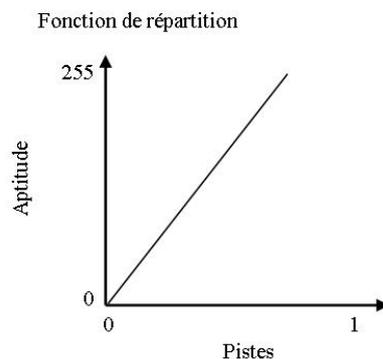


Figure 21 : Standardisation du facteur Pistes

4.3. Pondération des facteurs et combinaison des couches

Une fois la standardisation des facteurs terminée, l'étape suivante de l'évaluation multicritère peut être envisagée : il s'agit du choix des poids des facteurs. En effet, tous les facteurs interviennent à des degrés différents dans les processus d'érosion. L'**option AHP** (Analytical Hierarchy Process) est la manière la plus simple de pondérer l'ensemble des facteurs. L'interface se présente sous la forme d'une matrice de comparaison par paires (Matrice de Saaty). Les poids sont attribués pour chaque paire de facteurs, car il est beaucoup plus simple de comparer les facteurs deux à deux plutôt que d'évaluer le poids d'un facteur par rapport à l'ensemble des autres couches d'informations.

Une fois les pondérations déterminées, la **technique CLP** (Combinaison Linéaire Pondérée) permet de combiner les couches du modèle, en fonction de leur poids. Dans ce cas-là, la compensation entre facteurs est totale, c'est-à-dire qu'un facteur ayant une aptitude faible pourra être compensé par un autre ayant une aptitude élevée. Le degré de compensation dépendra du poids des facteurs. Cette technique consiste simplement à multiplier chaque facteur standardisé avec son poids puis de les additionner. La somme est divisée par le nombre de facteurs.

Le rapport du BRGM R38660 « Cartographie de la sensibilité des sols à l'érosion » (MAURIZOT, DELFAU, 1995) a servi de base au remplissage de la matrice de Saaty. Les pondérations attribuées aux couches utilisées dans cette étude étaient les suivantes :

| COUCHE D'INFORMATION | PONDERATION |
|---------------------------------|-------------|
| Pente | 0,2667 |
| Courbure verticale moyenne | 0,1333 |
| Surfaces drainées cumulées | 0,1333 |
| Densité de drainage | 0,1333 |
| Géologie | 0,1333 |
| Végétation et Occupation du sol | 0,1333 |
| Pistes | 0,0667 |

Tableau 8 : Pondérations attribuées aux couches du modèle d'érosion des sols (Rapport BRGM R38660, MAURIZOT P., DELFAU M., 1995)

La hiérarchie entre les couches a été conservée. Suite aux conseils de P. MAURIZOT, la couche Densité de drainage n'a pas été reconduite du fait de sa redondance avec le calcul des surfaces drainées cumulées. De plus, la couche Courbure verticale moyenne a été remplacée par deux nouvelles couches (Courbures de profil et Courbure horizontale) représentant plus concrètement la réalité du terrain. Enfin, un nouveau facteur, les précipitations, doit être rajouté. Seul ce facteur, non utilisé dans le rapport du BRGM, nécessite l'attribution d'une nouvelle pondération.

Nous savons que les précipitations jouent un rôle important dans les processus d'érosion des sols. Cependant, l'attribution exacte d'un poids à cette couche n'est pas possible dans le cadre de ce stage :

- Une campagne de relevés sur le terrain est la seule solution qui permettrait de valider totalement le modèle mis en place. Cependant, aucun jeu de données n'est disponible actuellement en Nouvelle Calédonie. De plus, une campagne de terrain est impossible à réaliser pendant la durée du stage, du fait principalement de l'accessibilité très réduite de ces zones.
- D'autre part, la donnée concernant les précipitations a été fournie avec une maille de 3 Km, ce qui est trop peu précis pour envisager la fixation définitive des pondérations du modèle.

Pour contrer cet obstacle, plusieurs scénarii ont été envisagés puis comparés, aboutissant ainsi à l'élaboration d'une **fourchette de probabilité** dans laquelle s'inscrit la potentialité du terrain à l'érosion.

Pour définir la fourchette de probabilité du modèle, deux scénarii ont été retenus afin de déterminer les résultats lorsque les précipitations ont un poids maximal (poids identique au facteur pente) et lorsqu'on leur affecte un poids minimal. Dans ce dernier cas, le poids affecté est identique à celui des facteurs Géologie, Occupation du sol et Surfaces drainées cumulées. Nous considérons que les précipitations ne peuvent pas avoir une influence inférieure à ces facteurs.

4.3.1. Scénario 1 : Les précipitations : facteur principal de l'érosion

D'après Le Bissonais *et Al* (1998), les précipitations représentent le facteur le plus important de l'érosion des sols. Cette couche a donc été placée dans un premier temps au niveau d'importance maximale, c'est-à-dire avec un poids identique à celui de la couche des pentes (Cf. Tableau 9 ci-dessous). Pour chaque paire de facteurs, des poids ont été attribués en s'appuyant sur l'étude bibliographique et l'avis d'experts.

| | Surfaces drainées | Précipitations | Courbure horizontale | Courbure de profil | Géologie | Occupation du sol | Pentes | Pistes |
|----------------------|-------------------|----------------|----------------------|--------------------|----------|-------------------|--------|--------|
| Surfaces drainées | 1 | | | | | | | |
| Précipitations | 3 | 1 | | | | | | |
| Courbure horizontale | 1/3 | 1/5 | 1 | | | | | |
| Courbure de profil | 1/3 | 1/5 | 1 | 1 | | | | |
| Géologie | 1 | 1/3 | 3 | 3 | 1 | | | |
| Occupation du sol | 1 | 1/3 | 3 | 3 | 1 | 1 | | |
| Pentes | 3 | 1 | 5 | 5 | 3 | 3 | 1 | |
| Pistes | 1/5 | 1/5 | 1/3 | 1/3 | 1/5 | 1/5 | 1/5 | 1 |

Tableau 9 : Matrice de comparaison des facteurs par paires pour le scénario 1

Le remplissage de la matrice de Saaty a permis le calcul des pondérations suivantes :

| COUCHE D'INFORMATION | PONDERATION |
|---------------------------------|-------------|
| Pente | 0,2644 |
| Précipitations | 0,2644 |
| Courbure de profil | 0,0486 |
| Courbure horizontale | 0,0486 |
| Surfaces drainées cumulées | 0,1152 |
| Géologie | 0,1152 |
| Végétation et Occupation du sol | 0,1152 |
| Pistes | 0,0284 |

Tableau 10 : Pondérations attribuées aux couches du modèles d'érosion pour le scénario 1

Le résultat de l'évaluation multicritère donne une carte de l'Aléa « Erosion hydrique » des sols. Cet aléa est traduit par une variable continue allant de 52 (aléa faible) à 202 (aléa fort).

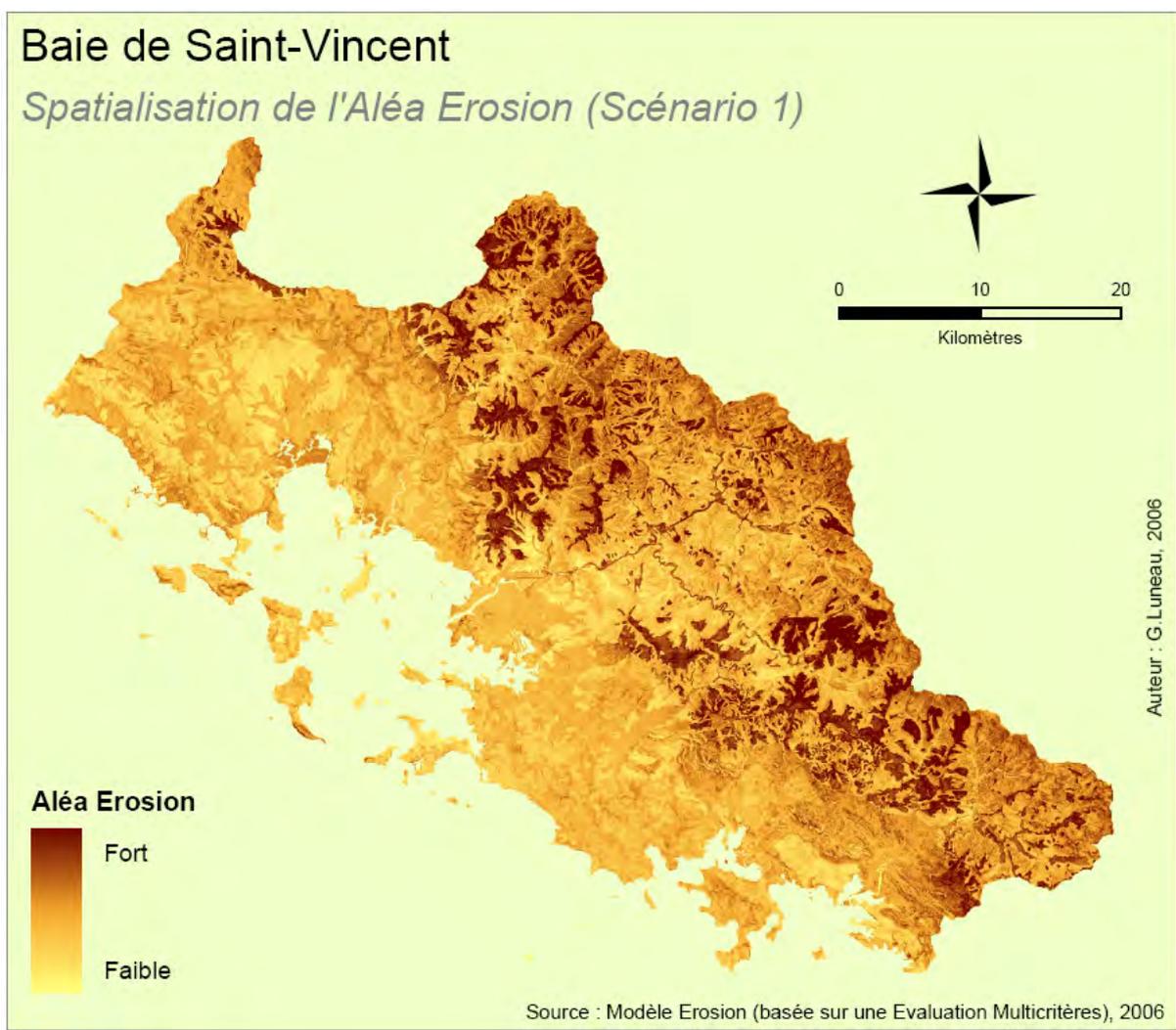


Figure 22 : Spatialisation de l'aléa Erosion pour le scénario 1

Les zones soumises à un fort aléa Erosion se distinguent aisément du reste du territoire d'étude. Nous voyons l'importance que les précipitations apportent au résultat : globalement l'aléa érosion augmente lorsque l'on se rapproche de la Chaîne centrale, ce qui est naturel car cette zone montagneuse est davantage soumise aux

précipitations que le reste de la zone d'étude. Cependant, la donnée fournie par METEO France est trop « lisse » pour marquer distinctement les zones soumises à l'influence du climat. Ce résultat montre la nécessité d'une donnée en entrée plus précise concernant les précipitations, permettant de mettre en avant les disparités de l'aléa climatique.

4.3.2. Scénario 2 : Un poids minimal affecté aux précipitations

Ce deuxième scénario marque la deuxième limite au modèle en affectant la couche Précipitations d'un poids minimal. Pour cela, on considère tout de même que les précipitations ne peuvent pas jouer un rôle moins important que les facteurs Géologie, Occupation du sol et Surfaces drainées cumulées. La Matrice de Saaty est ainsi complétée :

| | Surfaces drainées | Précipitations | Courbure horizontale | Courbure de profil | Géologie | Occupation du sol | Pentes | Pistes |
|----------------------|-------------------|----------------|----------------------|--------------------|----------|-------------------|--------|--------|
| Surfaces drainées | 1 | | | | | | | |
| Précipitations | 1 | 1 | | | | | | |
| Courbure horizontale | 1/3 | 1/3 | 1 | | | | | |
| Courbure de profil | 1/3 | 1/3 | 1 | 1 | | | | |
| Géologie | 1 | 1 | 3 | 3 | 1 | | | |
| Occupation du sol | 1 | 1 | 3 | 3 | 1 | 1 | | |
| Pentes | 3 | 3 | 5 | 5 | 3 | 3 | 1 | |
| Pistes | 1/5 | 1/5 | 1/3 | 1/3 | 1/5 | 1/5 | 1/5 | 1 |

Tableau 11 : Matrice de comparaison des facteurs par paires pour le scénario 2

Les pondérations calculées sont les suivantes :

| COUCHE D'INFORMATION | PONDERATION |
|---------------------------------|-------------|
| Pente | 0,3204 |
| Précipitations | 0,1359 |
| Courbure de profil | 0,0525 |
| Courbure horizontale | 0,0525 |
| Surfaces drainées cumulées | 0,1359 |
| Géologie | 0,1359 |
| Végétation et Occupation du sol | 0,1359 |
| Pistes | 0,0289 |

Tableau 12 : Pondérations attribuées aux couches du modèles d'érosion pour le scénario 2

De la même manière que pour le scénario 1, le croisement des huit couches d'informations selon les pondérations issues du second scénario aboutit à l'obtention de valeurs continues d'aléa Erosion. Dans ce deuxième cas, ces valeurs s'échelonnent de 67 (aléa faible) à 202 (aléa fort). La cartographie de ce résultat est présentée dans la figure suivante.

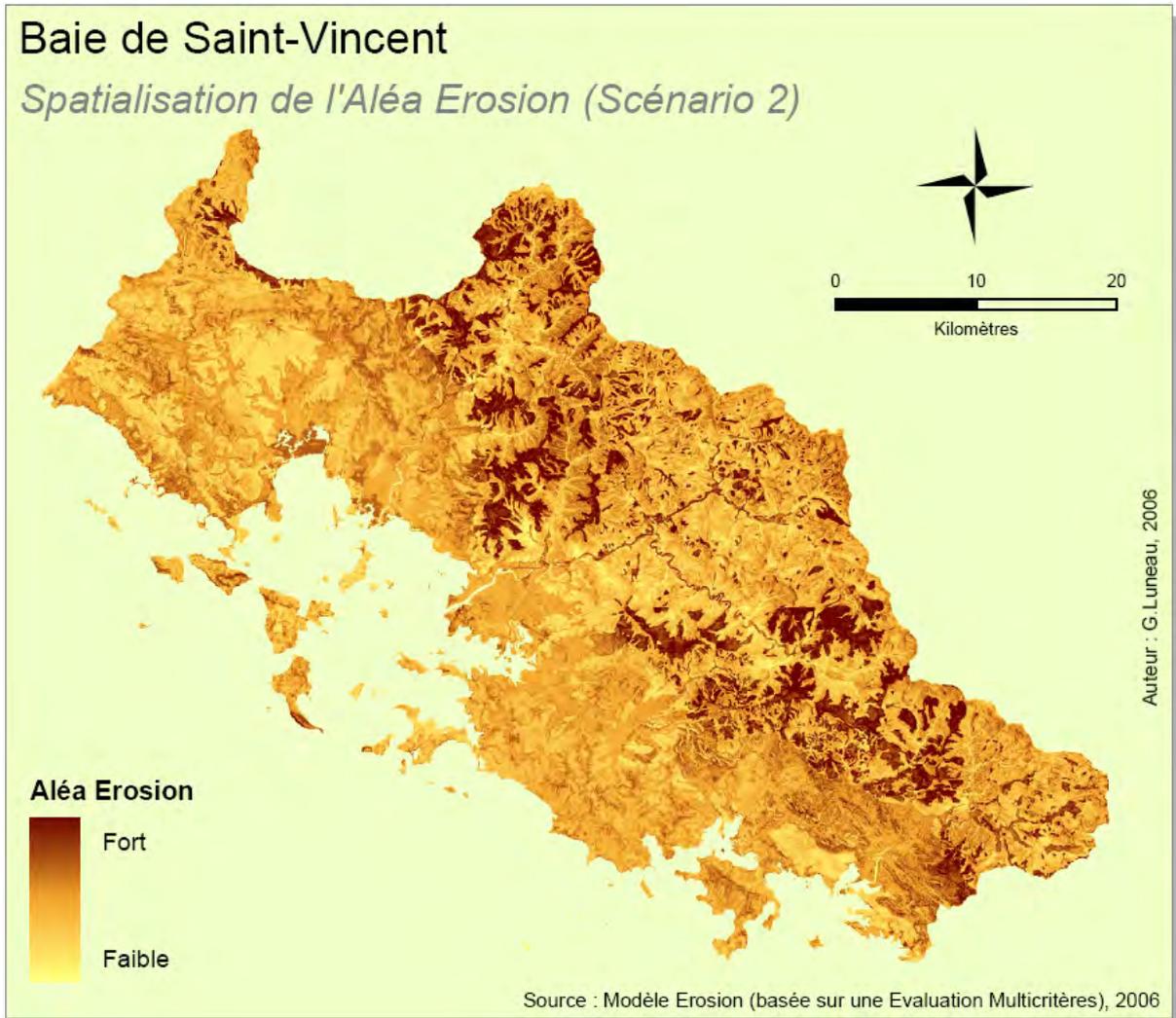


Figure 23 : Spatialisation de l'aléa Erosion pour le scénario 2

Le résultat obtenu est très proche du résultat précédent :

- Les zones d'aléa Erosion maximum n'ont pas été modifiées. Il s'agit de zones où les précipitations ont un impact peu important et l'influence d'autres facteurs, comme la nature du sol par exemple, prédomine. Il apparaît donc logique que le fait de modifier la pondération de la couche des précipitations n'affecte que très peu le résultat final sur ces zones.
- Par contre, le fait de minimiser l'importance des précipitations donne un résultat visible principalement dans les zones de la Chaîne centrale où l'aléa Erosion est plus faible que pour le scénario 1, se rapprochant des valeurs observées en plaine. Cela signifie que la couche Précipitations est importante puisqu'elle permettrait de mettre en avant les zones pour lesquelles l'aléa Erosion prendrait de l'importance du fait de leur forte exposition à cet aléa climatique. Cependant, la donnée disponible à l'heure actuelle semble trop imprécise (maille de 3 Km) pour identifier de manière précise les zones en question.

4.4. Interprétation des résultats

Face à l'impossibilité de pondérer de manière définitive les couches du modèle du fait de l'introduction d'un nouveau facteur, les précipitations, deux scénarii ont été envisagés dans le but de générer la fourchette de probabilités du modèle d'érosion. Ces deux scénarii ont permis de créer les résultats extrêmes : d'une part le facteur Précipitations a été affecté d'un poids maximum (identique au poids du facteur Pente) et d'autre part

d'un poids minimum (identique au poids des facteurs Géologie, Occupation du sol et Surfaces drainées cumulées). Ainsi, la fourchette de possibilités est constituée par les situations intermédiaires à ces deux scénarii. Une carte de comparaison entre les deux résultats est obtenue par soustraction du résultat du scénario 2 au résultat du scénario 1 : on peut ainsi apprécier la fourchette du modèle.

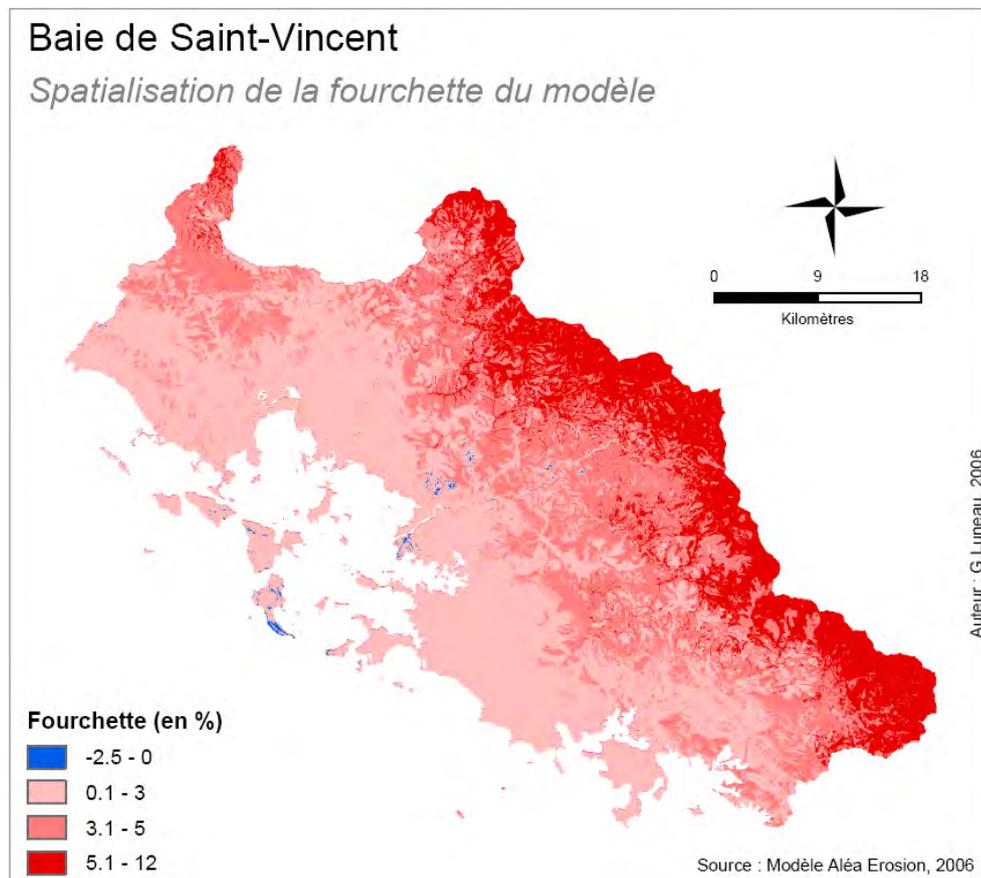


Figure 24 : Calcul de la fourchette du modèle d'érosion (Scénario1 - Scénario2)

On s'aperçoit que l'écart entre les deux résultats est globalement faible sur la majeure partie de la zone d'étude (moins de 5%) et prend un peu d'importance sur les zones situées dans la chaîne montagneuse. Cela semble logique puisqu'il s'agit des zones les plus soumises aux précipitations. Il semble donc important de prendre en compte cette information dans le modèle d'érosion, de manière à identifier les endroits où les fortes précipitations prennent le dessus sur les autres facteurs et conduiraient à un aléa Erosion important. Pour cela, une donnée plus précise en entrée est nécessaire.

Les zones identifiées comme étant les plus sensibles à l'érosion ne sont pas affectées par la pondération des précipitations. L'origine d'un aléa Erosion fort sur ces zones provient de l'influence plus importante d'autres facteurs tels que la pente, la couverture végétale, la nature des sols, etc. Sur la commune de Boulouparis, un relevé des sites dégradés issus de l'exploitation minière a été réalisé en 2005 par le bureau de la Géologie de la DIMENC. La comparaison du résultat obtenu par le modèle avec cet inventaire des sites dégradés a été réalisée et est présentée dans la figure suivante. Sur cette carte, le cadastre minier a été rajouté.

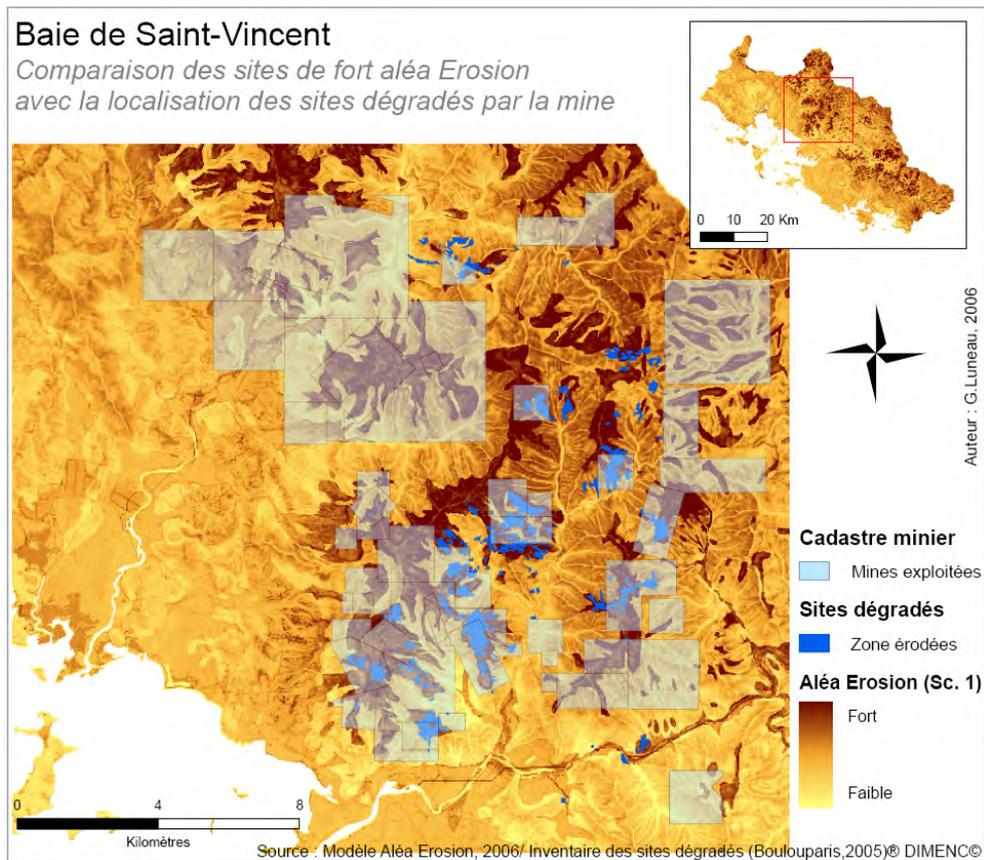


Figure 25 : Comparaison des résultats avec l'inventaire des sites dégradés sur Boulouparis

Cette comparaison permet dans un premier temps d'évaluer la qualité du modèle créé. Le modèle a permis l'identification de tous les sites dégradés issus de l'exploitation minière (en bleu sur la carte). De plus, on peut noter une corrélation importante entre les zones soumises à un fort aléa Erosion et les parcelles d'exploitation minière. Ceci est tout à fait logique puisque le minerai extrait dans les mines de nickel à ciel ouvert est de la latérite⁹, matériau très fortement érodable.

Cependant, cette comparaison approximative ne suffit pas pour une validation complète. En effet, les zones dégradées issues de phénomènes d'érosion naturelle n'ont pas été cartographiées dans cette étude. Dans le futur, la fixation définitive des pondérations des couches du modèle devra obligatoirement passer par une phase de relevés de terrain. Ainsi, les zones sensibles à l'érosion, issues de l'exploitation minière ou de phénomènes naturels, devront être cartographiées sur l'ensemble de la zone d'étude.

De plus, pour une fixation définitive du modèle, les données météorologiques devront être plus précises, c'est-à-dire fournies avec une maille beaucoup plus fine. En effet, les données disponibles actuellement sont trop « lissées » pour permettre d'évaluer l'impact réel des précipitations sur l'érosion des sols.

⁹ La Latérite est une roche brun-rouge constituée d'hydroxydes d'aluminium et de fer, formée par l'altération des péridotites (roches composées essentiellement de silicate de magnésium, de fer et de nickel). Cette altération s'accompagne de la libération de silice et de magnésie, entraînant une concentration relative du nickel.

5. SIMULATION DU MODELE AVEC DES DONNEES A RESOLUTION SPATIALE PLUS FINE

Dans le cadre de ce stage, l'objectif du projet réside en la définition d'une méthodologie permettant de spatialiser l'aléa Erosion des sols. Pour un affinage optimal du travail réalisé au paragraphe 4, il a semblé pertinent de tester l'impact de la résolution spatiale des données d'origine sur la méthodologie. Pour cela, les couches d'informations du modèle ont été réalisées sur une zone restreinte à partir de données à résolution spatiale plus fine, lorsque cela le permettait, puis croisées selon la méthode d'Evaluation Multicritère.

5.1. Choix de la zone concernée

Ce comparatif n'a pas été réalisé sur l'intégralité de la zone d'étude. Seulement deux bassins versants ont été sélectionnés dans la Baie de Saint-Vincent : celui de la Tontouta et celui de la Ouenghi, les deux principaux cours d'eau du terrain étudié.

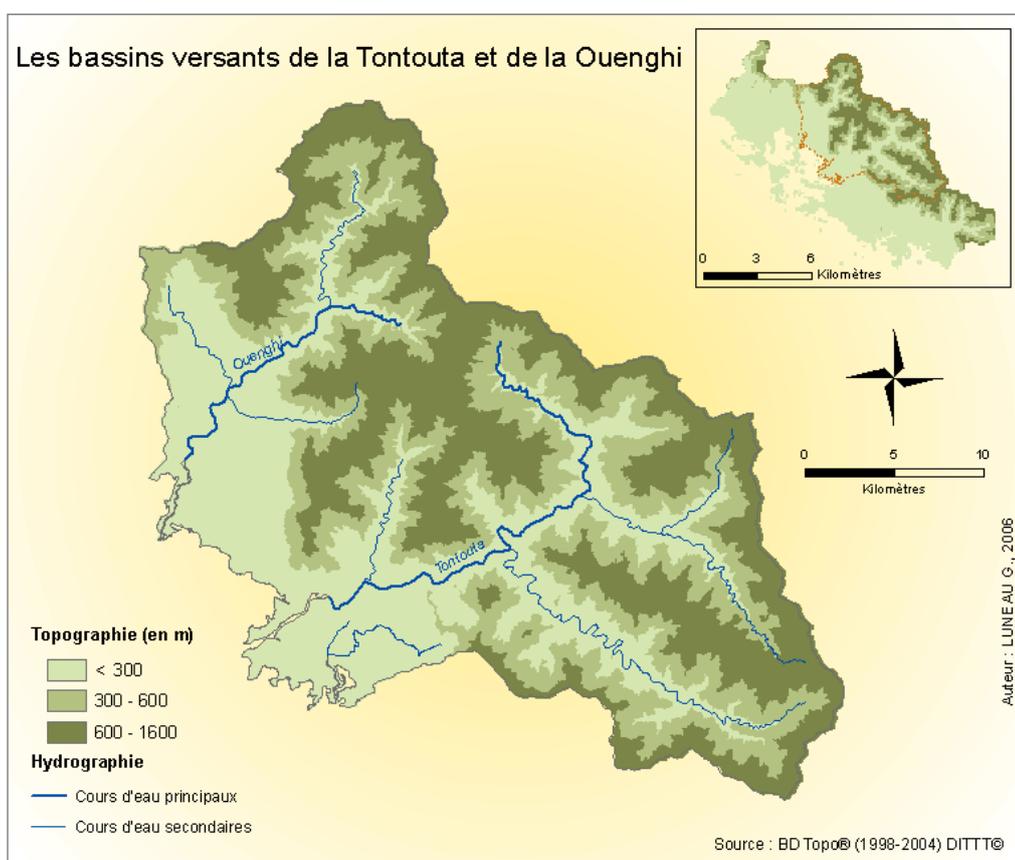


Figure 26 : Carte de localisation des bassins versants choisis pour la comparaison

5.2. Réalisation des couches d'informations

Les huit couches d'informations utilisées dans le modèle d'érosion ont été réalisées sur cette zone restreinte, de la même manière qu'au paragraphe 3, en essayant dans la mesure du possible de préciser l'information par l'utilisation d'une donnée d'origine spatialement plus précise.

L'étude du recouvrement de la végétation représente la phase nécessitant le travail le plus conséquent. En effet, une nouvelle classification des formations végétales a été réalisée à partir d'une image satellite à Très Haute Résolution SPOT5 (pixel de 10×10 mètres).

Un nouveau MNT a dû être généré à partir des courbes de niveaux de la BD Topo de la DITTT. Ce MNT, au pas de 10 mètres, a permis le calcul des pentes, des courbures horizontales et verticales et des surfaces drainées cumulées.

Enfin, les couches d'informations concernant les pistes, la géologie et les précipitations n'ont pas pu bénéficier de données plus précises. Ces couches ont uniquement été rééchantillonnées à un pas de 10 mètres.

5.2.1. Classification de la végétation à partir d'image satellite SPOT5

Le modèle réalisé au chapitre précédent intègre une couche d'occupation du sol obtenue à partir d'images satellites Landsat 7, dont la résolution est de 30 mètres. Pour améliorer la précision de cette couche d'information, il était nécessaire de travailler sur des images à plus haute résolution spatiale. Cette opportunité s'est présentée lorsque le service Géomatique de la DTISI¹⁰ a accepté de nous fournir une image SPOT5 datant du 11 novembre 2004, dans le cadre de cette étude. Son emprise géographique est présentée dans la figure suivante.

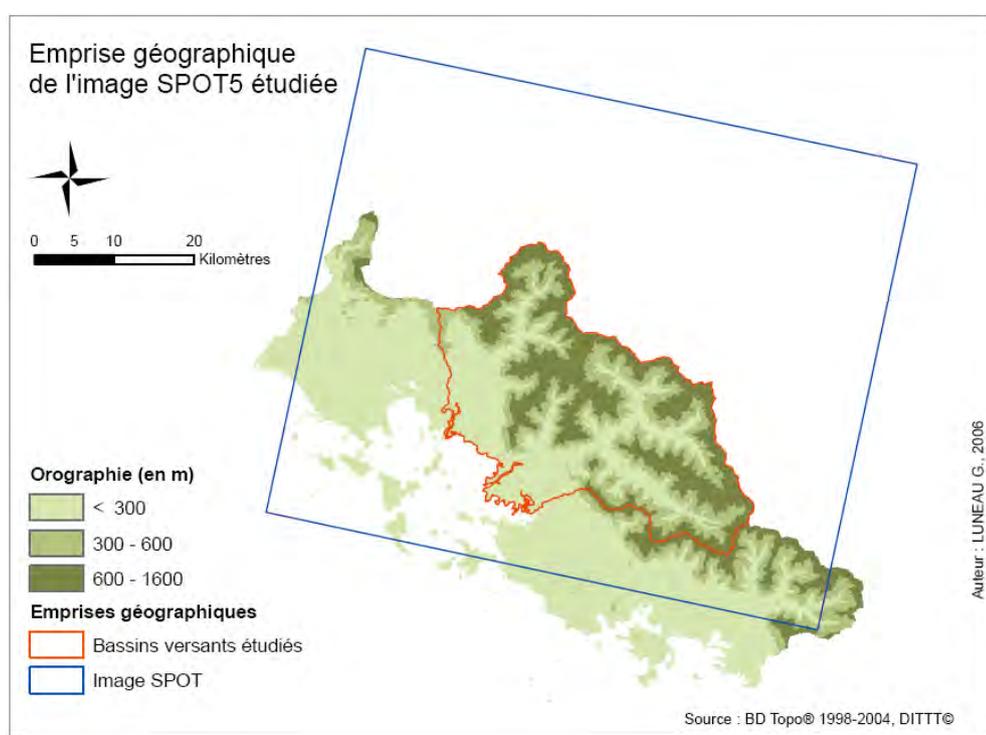


Figure 27 : Visualisation de l'emprise géographique de l'image SPOT5

5.2.1.1. Pré-traitements

La DTISI a récemment acquis les images SPOT5 recouvrant l'intégralité du territoire de la Nouvelle Calédonie. Les images sont de **niveau 2A**, c'est-à-dire que les corrections suivantes ont été réalisées :

- la correction **radiométrique** corrige les distorsions dues aux écarts de sensibilité entre les détecteurs élémentaires de prises de vue,
- la correction **géographique** (sans prise de points d'amers) dans la projection cartographique standard (WGS84-UTM) permet, en tenant compte du décalage éventuel en localisation, de combiner l'image à différents types d'information géographique (www.spotimage.fr).

¹⁰ Direction des Technologies et des Services de l'Information

L'image fournie ayant été prise avec un angle de 20°, les zones de montagne présentent des décalages. Cela pose problème surtout en ce qui concerne les crêtes, zones à priori les plus sensibles aux phénomènes d'érosion. L'acquisition de ce type de données n'a pas permis à la DTSI de réaliser les orthorectifications nécessaires au calage des zones de montagne. En effet, la différence entre des images de niveaux 1B et 2A est une reprojexion cartographique à une altitude constante. L'orientation de l'image est donc perdue, rendant impossible toute orthorectification (Cf. ANNEXE X : EXTRAIT D'UN DES NOMBREUX ECHANGES ENTRE LA DTSI ET SPOT IMAGE).

Suite aux conseils de Damien BUISSON, Ingénieur en Télédétection à la DTSI, un test d'orthorectification a tout de même été réalisé sous ERDAS Imagine, sans utiliser le module d'orthorectification spécifique aux images SPOT mais le module générique « Generic Pushbroom ». Ce module n'intègre aucun paramètre par défaut du capteur et permet ainsi à l'utilisateur de remplir lui-même les caractéristiques liées à l'image à corriger.

Plusieurs tentatives d'orthorectification ont été effectuées mais les distorsions dues au relief n'ont pas été corrigées et ont même été accentuées dans certains endroits, produisant des erreurs de plusieurs centaines de mètres. L'image a finalement été utilisée telle que fournie au départ par la DTSI.

5.2.1.2. Classification de la végétation

La classification de la végétation à partir de l'image SPOT5 avait pour but de cartographier les différents types de formations végétales présentes sur la zone, selon la même typologie que celle employée par P. DUMAS dans sa thèse. La résolution spatiale passant de 30 à 10 mètres, l'objectif était d'affiner l'emprise spatiale des classes existantes. De plus, il était intéressant de tenter l'identification de classes n'ayant pu être cartographiées à partir des images Landsat 7, comme les zones de cultures ou de bâti.

Dans la pratique, les valeurs radiométriques très voisines des signatures spectrales des objets ont entraîné des difficultés pour discriminer les thèmes d'occupation du sol et les individualiser. Ce phénomène est caractéristique de la télédétection en milieu tropical. En effet, les paysages tropicaux sont considérés comme des « **paysages flous** » (FOTSING, 1998) caractérisés par une occupation du sol anarchique et une forte imbrication des formations végétales, des parcelles de petites tailles et aux formes irrégulières.

De plus, l'habitat souvent diffus sur la zone étudiée et les axes de communication ne sont pas reconnaissables sur les images satellites. Ces thèmes, du fait de la nature de leur matériau (les cases composant l'habitat traditionnel en Nouvelle Calédonie sont faites de matières végétales telles que le bois, la paille, le torchis...) se confondent en général avec le sol nu (DUMAS, 2004).

Enfin, les effets du relief se sont ajoutés aux difficultés de classification. La topographie peut induire des perturbations du signal, produisant ainsi des variations dans la valeur radiométrique des pixels (effets d'ombres portées par exemple).

La classification de l'occupation du sol sur les bassins versants de la Tontouta et de la Ouenghi a été réalisée à partir de **classifications non supervisées avec segmentation spatiale**. En effet, la segmentation a permis de découper le territoire d'étude en deux grandes parties selon le type de substrat, qui détermine fortement la végétation présente :

- la **plaine** caractérisée par les formations de types savane,
- et le **massif de péridotites**, substrat spécifique au maquis minier.

Ainsi, la confusion de certains types de végétation lors de la classification a pu être évitée. La Figure 28 ci-après récapitule brièvement les principales étapes réalisées pour le traitement de l'image SPOT. Le résultat obtenu est présenté à la Figure 29.

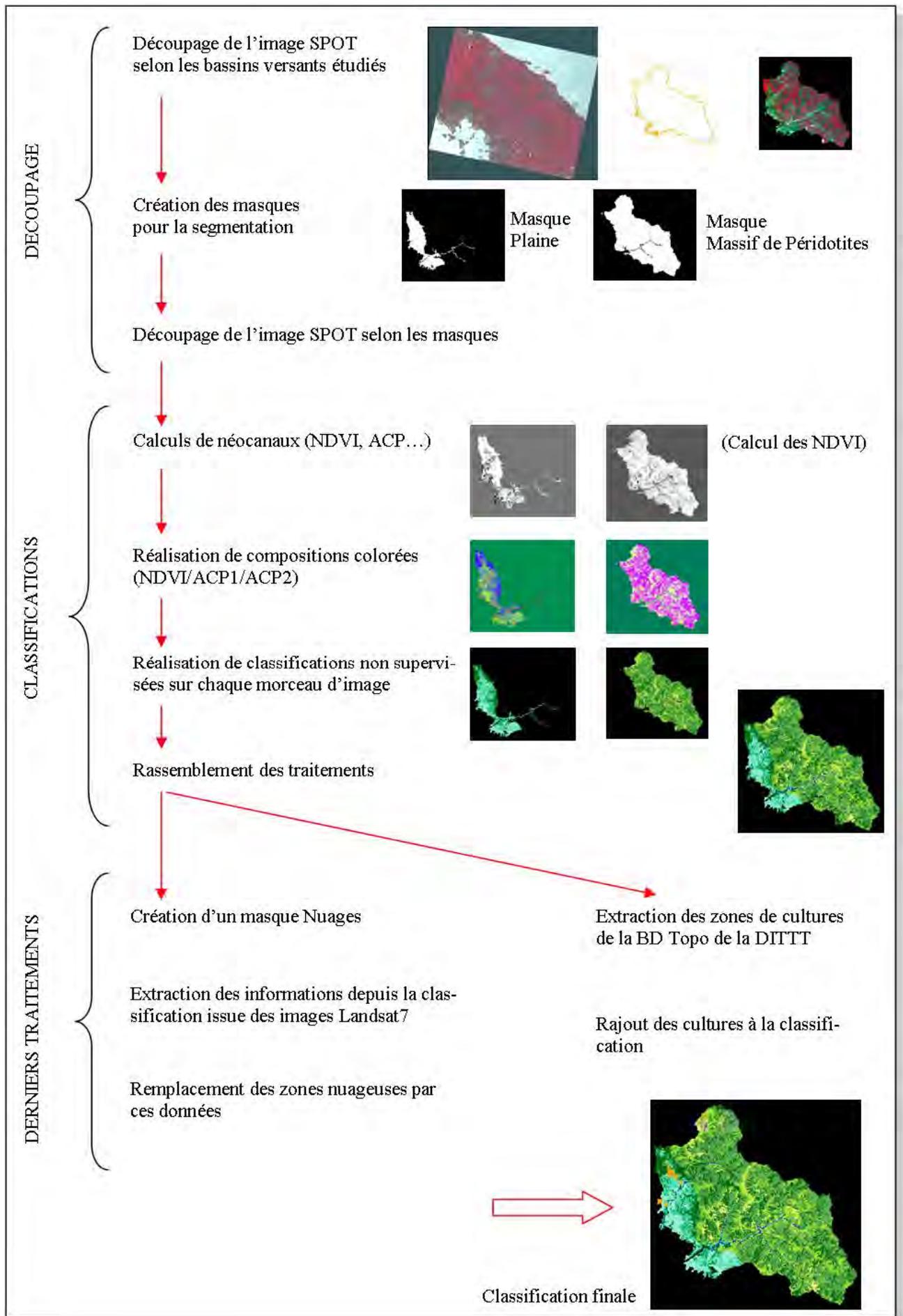


Figure 28 : Schéma récapitulatif des traitements réalisés sur l'image SPOT5

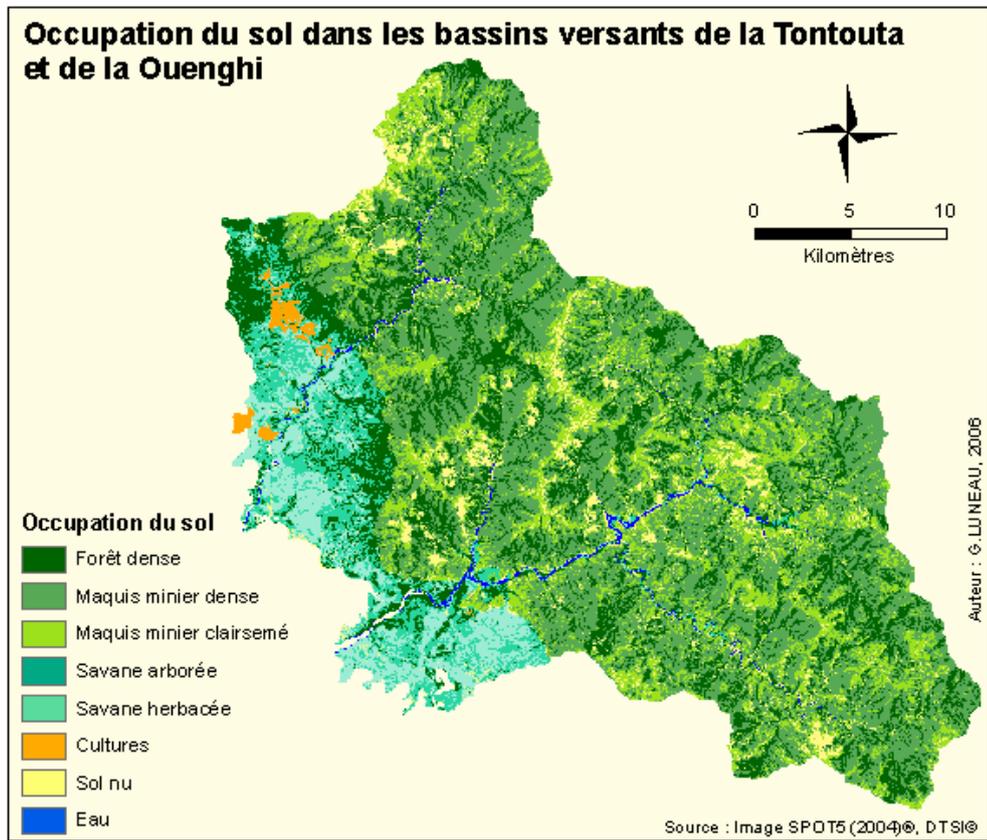
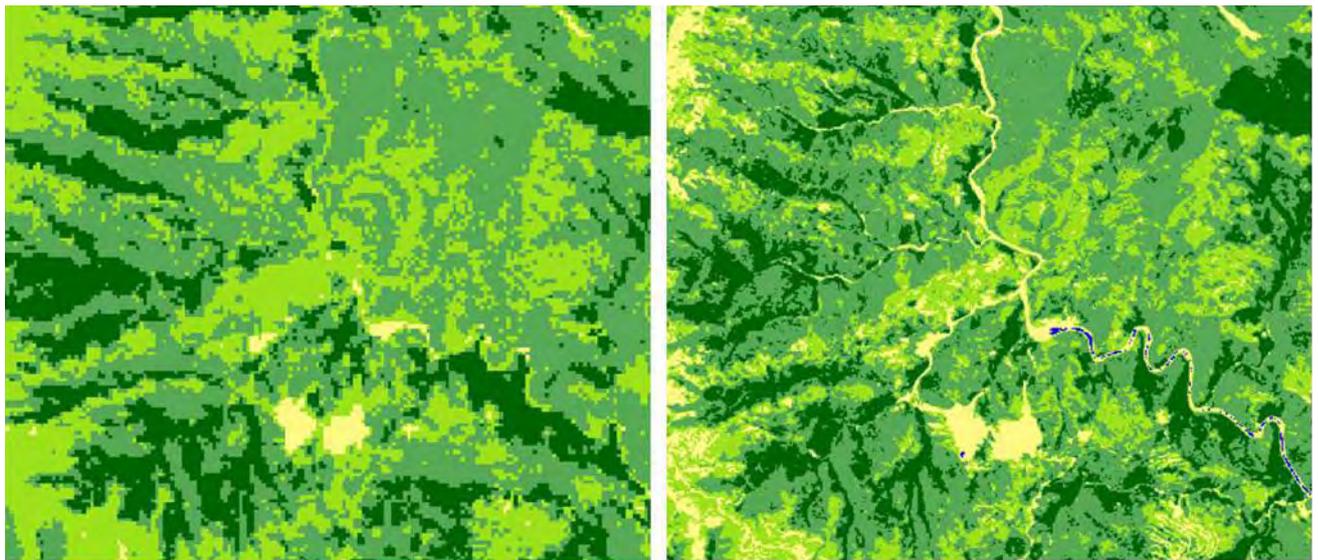


Figure 29 : Occupation du sol des bassins versants de la Tontouta et de la Ouenghi

La classification de l'occupation du sol à partir de l'image SPOT5 a permis principalement de préciser spatialement la délimitation des thèmes notamment la classe « Sol nu », représentant les milieux les plus sensibles aux processus érosifs. L'amélioration spatiale de la localisation de la végétation peut être évaluée dans la figure suivante présentant deux extraits des classifications issues des images satellites Landsat7 et SPOT5.



Classification de la végétation
(Images Landsat 7, pixel de 30m)

Classification de la végétation
(Images SPOT5, pixel de 10m)

Figure 30 : Visualisation de l'amélioration de la classification de la végétation

5.2.2. Données issues du MNT

De la même manière qu'au chapitre 3.2.1., un MNT a été généré à partir des courbes de niveaux de la BD Topo de la DITTT, par la méthode d'interpolation IDW. Le MNT réalisé possède cette fois-ci une taille élémentaire de pixel de 10×10 mètres.

A partir de ce MNT, les couches d'informations **Pente**, **Courbures horizontale et verticale**, **Surfaces drainées cumulées** ont pu être recalculées sous ArcGIS 9.0.

5.2.3. Autres données

Les couches d'informations **Géologie**, **Précipitations** et **Pistes** n'ont pas pu bénéficier d'une amélioration de leur résolution spatiale, du fait de l'inexistence de données d'origine plus précises. Les images raster utilisées dans le modèle d'érosion ont uniquement été rééchantillonnées pour obtenir une taille élémentaire de pixel de 10×10 mètres et ainsi permettre leur croisement avec les autres facteurs.

5.3. Evaluation Multicritère : présentation et évaluation du résultat

La méthode d'Evaluation Multicritère sous Idrisi Kilimanjaro a de nouveau été appliquée à ces huit nouvelles couches d'informations de la même manière qu'au chapitre précédent. Le résultat obtenu (pour le scénario 1, c'est-à-dire lorsque les précipitations sont considérées comme ayant la même importance que le facteur pente) est présenté à la figure suivante.

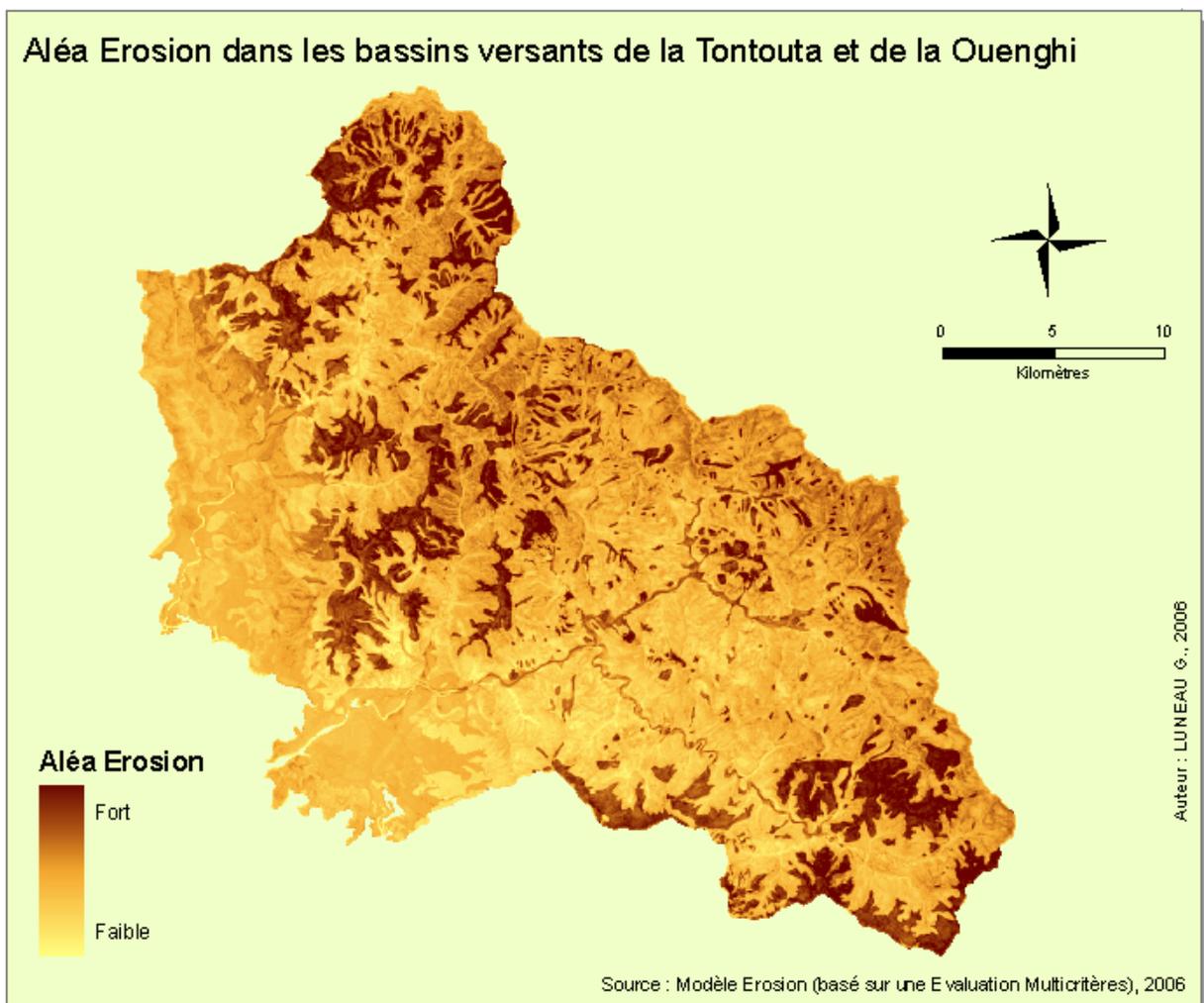


Figure 31 : Spatialisation de l'Aléa Erosion des bassins versants de la Tontouta et de la Ouenghi

Pour faciliter la comparaison des résultats de spatialisation de l'Aléa Erosion obtenus avec les deux résolutions spatiales testées, une soustraction des résultats est présentée à la figure ci-dessous.

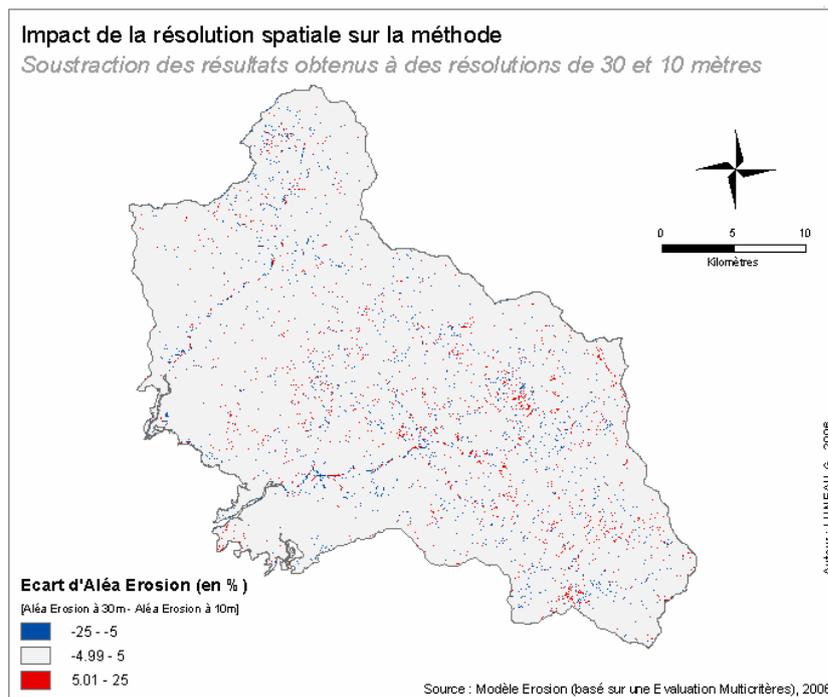


Figure 32 : Carte présentant les écarts entre les résultats obtenus à des résolutions de 30 et 10 mètres

La comparaison des résultats issus du croisement des couches à des résolutions de 30 et 10 mètres ne présente globalement pas de différences significatives. En effet, l'écart entre les deux résultats ne dépasse que ponctuellement les 5%. Ce résultat peut être expliqué par le fait que certaines couches jouant un rôle important dans les processus d'érosion, comme la géologie, n'ont pas pu être améliorées.

En ce qui concerne les zones qui présentent un écart plus important (de 5 à 25%), l'étude plus approfondie de la localisation de ces différences permet de conclure que la classification de la végétation obtenue à partir de l'image SPOT5 constitue en grande partie la cause de ce résultat. La précision des thèmes d'occupation du sol, notamment des sols nus, agit directement sur la valeur finale de l'aléa Erosion.

Nous pouvons conclure de ce travail qu'un effort de précision sur certaines données, comme les classifications issues d'images satellites, n'est pas dans tous les cas indispensable.

- Les caractéristiques des paysages tropicaux, fortement hétérogènes et qualifiés de « paysages flous », empêchent la discrimination précise des objets de petites tailles et leur identification, au contraire des zones tempérées, où l'occupation du sol plus ordonnée et rationnelle, facilite ce traitement. Le travail réalisé sur des images à Très Haute Résolution est tout de même plus précis mais n'apporte pas d'information supplémentaire comme la discrimination de nouvelles classes.
- D'autre part, la spatialisation de l'Aléa Erosion est issue d'un croisement de huit couches d'informations. Il est donc important d'assurer une certaine cohérence entre la précision de chacune des données servant à la constitution de ces couches. Ainsi, tant que certaines couches ne seront pas précisées, il ne semble pas pertinent d'utiliser des données à résolution plus fine pour les autres.

6. VERS UN MODELE DYNAMIQUE ?

Dans un premier temps, le stage a consisté à établir une méthode de croisement de données dans le but de mettre en place un modèle statique de spatialisation de l'aléa Erosion. La méthodologie reprend celle employée par Pascal DUMAS dans sa thèse et utilise l'**expertise** comme moyen d'approcher au mieux la réalité du terrain. Dans un objectif de perspective du travail effectué lors de ce stage, un test de croisement des données a été réalisé selon une méthode statistique. Le but de cette étape a été d'avoir un regard critique sur le résultat issu de l'expertise mais aussi de tester une nouvelle approche, permettant de proposer des pistes futures comme par exemple le développement d'un modèle dynamique.

6.1. Intérêts et objectifs de la démarche

Le croisement des données d'érosion par une méthode statistique a présenté plusieurs avantages :

- *des pondérations déterminées de manière mathématique*

L'intérêt majeur de cette phase est la détermination des coefficients de pondérations des couches d'informations de manière purement mathématique. Pour cela, on utilise une série de points appelés « points vérités » pour lesquels on est capable de dire s'il s'agit de zones fortement ou faiblement soumises à l'érosion. Une régression linéaire est alors réalisée et permet l'obtention d'une équation rassemblant les coefficients de pondérations des couches d'informations utiles dans la caractérisation du degré d'aléa Erosion. Ainsi, une comparaison avec les résultats issus du modèle basé sur l'expertise a été réalisée et a permis d'avoir un regard critique sur la méthode.

- *une méthodologie simplifiée*

La méthode statistique utilise directement les couches d'informations brutes, sans passer par une phase de standardisation : les coefficients de pondération déterminés par le logiciel tiennent compte de cette standardisation. Cette mise en œuvre simplifiée peut s'avérer très intéressante pour une évolution future du modèle. En effet, l'érosion des sols est un processus qui n'évolue pas de manière linéaire dans le temps mais dépend d'évènements naturels comme les précipitations. L'aléa Erosion ne sera pas le même en pleine saison sèche ou suite à de violents évènements pluvieux. Une évolution du modèle sous une forme dynamique, c'est-à-dire intégrant les données variant dans le temps, ici les précipitations, de manière régulière (par saison par exemple) semble pertinente. C'est pourquoi une augmentation de la simplicité et de la rapidité de la méthode est intéressante à étudier.

6.2. Présentation des premiers résultats obtenus

6.2.1. Spatialisation de l'aléa Erosion par croisement de quatre paramètres

Dans un premier temps, la méthode statistique a conclu que seules quatre des huit couches d'informations proposées étaient nécessaires pour la spatialisation de l'aléa Erosion : la Géologie, les Précipitations, la Végétation et la Pente (Cf. ANNEXE XI : *Arbre décisionnel*). Le coefficient de corrélation alors obtenu est de 0.9315. Ce coefficient, très proche de 1, indique une très forte corrélation entre ces quatre paramètres. L'utilisation de la totalité des huit couches disponibles ne conduit qu'à une très faible amélioration de celui-ci (0.9338). L'équation obtenue est la suivante (Cf. ANNEXE XII : *METHODOLOGIE EMPLOYEE POUR LA REGRESSION LINEAIRE*) :

$$\text{ALEA EROSION} = 0.0502958 \times \text{GEOLOGIE} + 0.0003615 \times \text{PRECIPITATIONS} + 0.0345867 \times \text{VEGETATION} \\ + 0.0047963 \times \text{PENDE} - 0.7024694$$

La cartographie de ce résultat est présentée dans la figure suivante.

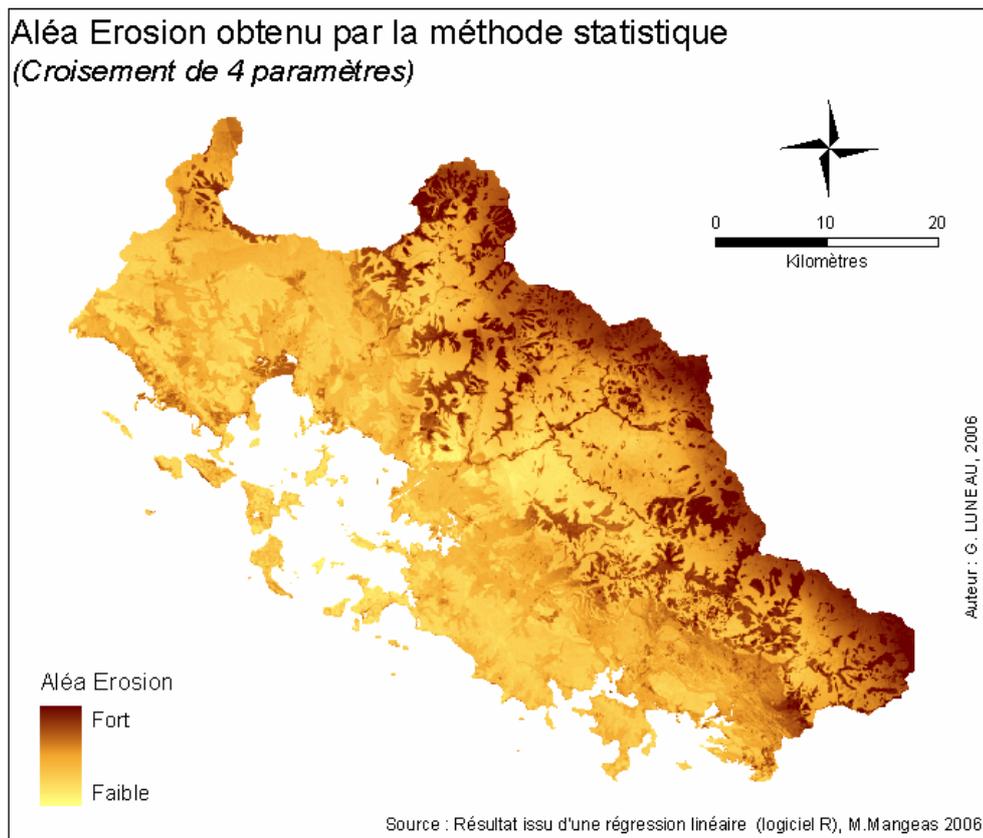


Figure 33 : Spatialisation de l'aléa Erosion issue du croisement de 4 paramètres selon la méthode statistique

Ce résultat est proche de celui issu de l'évaluation multicritère basée sur l'expertise. Les zones de plus fort aléa sont identiques. La plaine présente une zone en général peu soumise aux processus d'érosion. Cependant, si dans la globalité les résultats sont similaires, cette carte n'apporte tout de même pas le même degré de précision que la carte issue du croisement des huit couches d'informations lors de l'évaluation multicritère, principalement dans les zones d'aléa moyen. La régression linéaire a donc été réalisée à nouveau en utilisant la totalité des couches d'informations.

6.2.2. Spatialisation de l'aléa Erosion par croisement de la totalité des paramètres

Nous avons tout de même souhaité obtenir un résultat issu du croisement de tous les facteurs de l'érosion, afin de pouvoir établir une réelle comparaison avec le modèle basé sur l'expertise. L'équation déterminée est la suivante (Cf. ANNEXE XII : METHODOLOGIE EMPLOYEE POUR LA REGRESSION LINEAIRE) :

$$\begin{aligned} \text{ALEA EROSION} = & 0.0505044 \times \text{GEOLOGIE} + 0.0003183 \times \text{PRECIPITATIONS} + 0.0312759 \times \text{VEGETATION} \\ & + 0.0053798 \times \text{PENTES} + 0.0756197 \times \text{PISTES} - 0.0118618 \times \text{COURBURE HORIZONTALE} \\ & - 0.0650268 \times \text{COURBURE DE PROFIL} + 0.0003285 \times \text{SURFACES DRAINEES CUMULEES} - 0.6764857 \end{aligned}$$

On peut noter ici que les coefficients attribués aux courbures sont de signe négatif. Ceci est logique, puisque l'aléa Erosion augmente avec la concavité de la courbure (horizontale ou de profil) : plus les valeurs de courbures sont négatives, et plus l'aléa Erosion sera important.

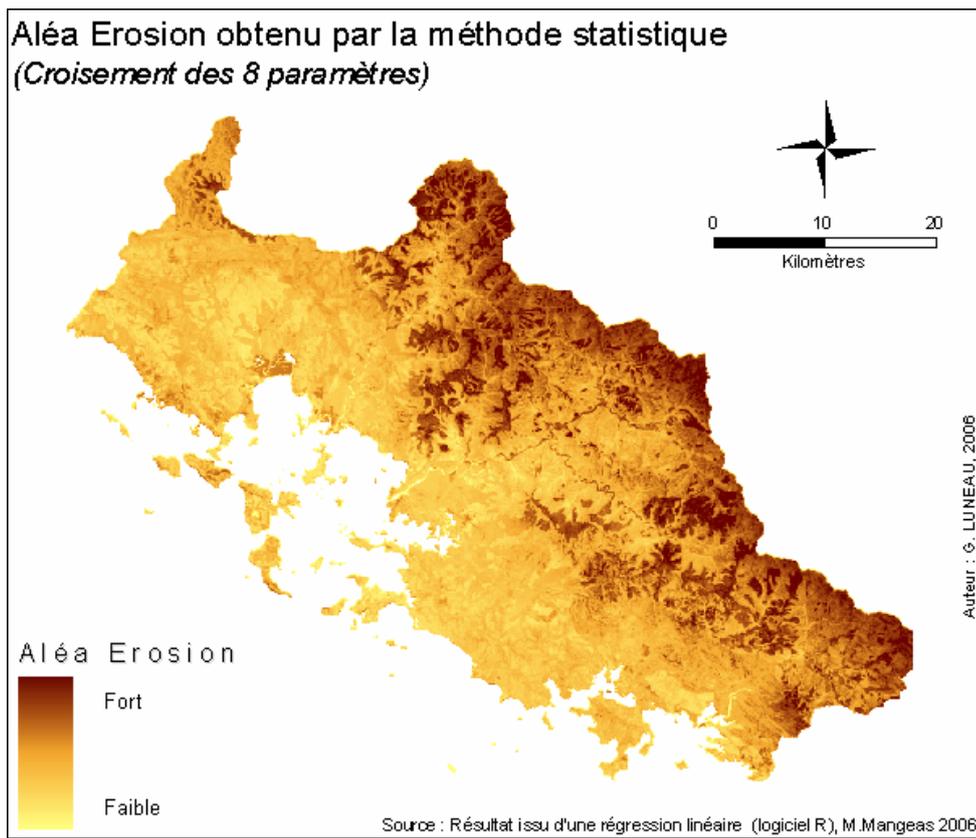
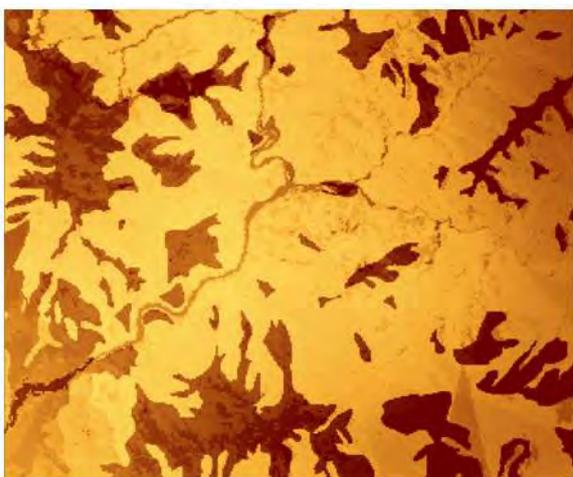


Figure 34 : Spatialisation de l'Aléa Erosion issue du croisement des 8 couches d'informations par la méthode statistique

Le résultat obtenu est proche du résultat précédent et quasiment identique au résultat issu de la méthode par expertise. La différence majeure avec le résultat issu du croisement des quatre paramètres correspond à la précision obtenue au niveau des zones d'aléa Erosion moyen. Les zones de fort ou de faible aléa n'ont par contre pas été modifiées. Ceci explique pourquoi le coefficient de corrélation n'augmente pas beaucoup lors de l'utilisation des 8 paramètres (0.9338 au lieu de 0.9315).



Extrait du résultat issu du croisement de 4 paramètres



Extrait du résultat issu du croisement de la totalité des paramètres

Figure 35 : Comparaison des résultats issus du croisement de 4 et de 8 paramètres

6.3. Interprétations

De manière générale, la méthode statistique utilisée pour le croisement des couches d'informations a permis d'obtenir un résultat proche de celui obtenu par avis des experts. Cela tend à confirmer la pertinence de la méthode réalisée dans les paragraphes précédents et à valider les résultats obtenus par expertise.

Afin de mieux évaluer les différences entre les résultats des deux méthodes, une carte de comparaison des résultats est présentée dans la figure suivante. Le résultat obtenu par la méthode statistique est soustrait au résultat provenant de l'avis des experts.

Cette comparaison permet de confirmer la tendance, à savoir la grande similitude entre les résultats. Les écarts de plus de 20% ne concernent que quelques pixels localisés principalement en plaine ou dans la Chaîne centrale (cela correspond sur la carte aux deux classes extrêmes). Pour la grande majorité de la zone d'étude, l'écart entre les résultats est inférieur à 20%.

Toutefois, les résultats ne sont pas complètement identiques. Nous pouvons noter par exemple, que la couche Précipitations a pris beaucoup d'importance dans la méthode statistique, faisant beaucoup plus ressortir les zones fortement soumises à cet aléa climatique, c'est-à-dire les zones situées en montagne. Au contraire, en plaine, la méthode par expertise a globalement déterminé un aléa Erosion plus important que la méthode statistique.

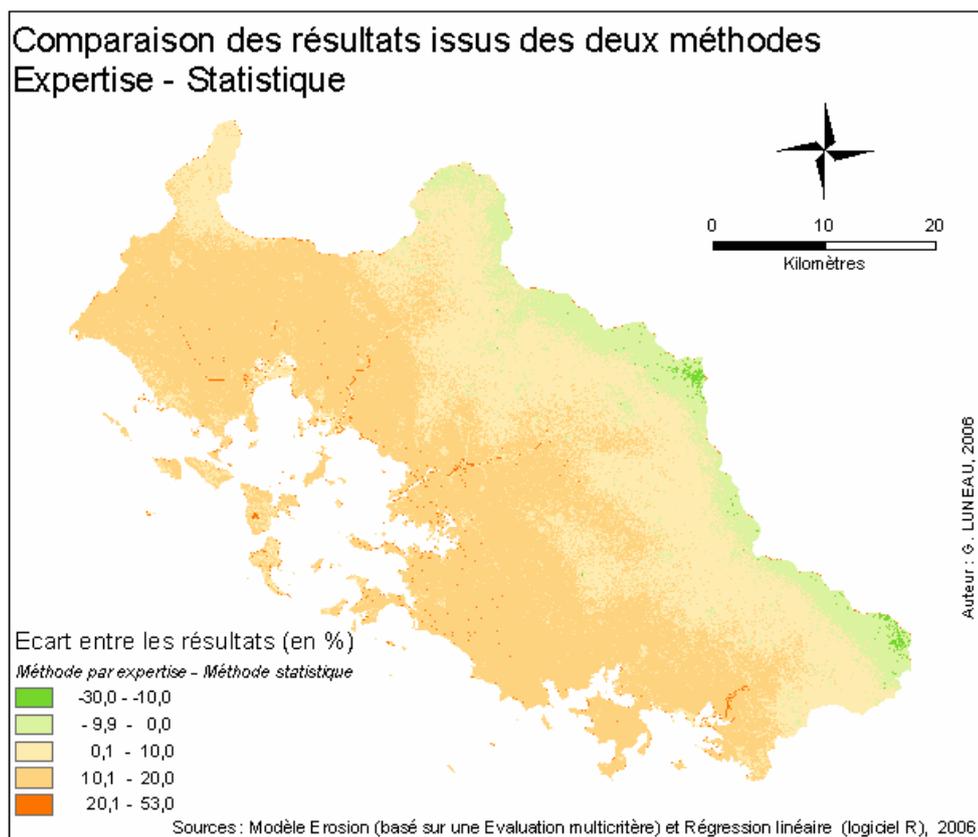


Figure 36 : Carte de comparaison des résultats issus des méthodes par expertise et statistique

L'exécution de la méthode statistique a donc permis de confirmer et de valider l'avis des experts, en produisant des résultats similaires. Cependant, la différence obtenue, même peu importante, doit faire l'objet d'une étude future. En effet, pour calibrer de manière définitive le modèle d'érosion, il convient de préconiser une union des deux méthodes pour obtenir un seul et unique résultat. Nous pouvons émettre l'hypothèse que les experts pourraient ne pas avoir pris en compte certaines interactions entre les paramètres

de l'érosion. Mais l'écart pourrait aussi être dû à une mauvaise mise en relation des paramètres par la méthode statistique.

De plus, le choix des « points-vérités » pourrait constituer une des causes de cet écart. En effet, tous proviennent de la seule donnée disponible, c'est-à-dire la carte réalisée par la DIMENC localisant les zones fortement érodées. Il s'agit de la cartographie des zones dégradées par l'exploitation minière. Elle ne localise donc pas les zones soumises aux phénomènes d'érosion naturelle.

On peut donc émettre l'hypothèse que le choix des « points vérités » constitue une des causes de l'écart entre les deux résultats. La méthode statistique donne la plus grande importance à la couche Géologie : ceci pourrait provenir du fait que les mines exploitent les zones de latérites, matériau très fortement érodable. De plus, les exploitations sont situées sur les crêtes de la partie montagneuse de la zone d'étude, fortement soumises aux précipitations.

Il semble donc intéressant, pour la suite du projet, de continuer à explorer cette voie. La méthode statistique, simple et rapide, présente un fort potentiel puisqu'elle pourrait permettre la mise en place d'un outil automatisé intégrant certaines variables de manière dynamique. Les résultats pourront être affinés grâce aux connaissances des experts sur ces milieux, connaissances qui pourraient être confortées par de nouvelles campagnes de terrain, permettant d'obtenir une série de données complète sur l'ensemble de la zone d'étude.

CONCLUSION

La localisation et la compréhension des processus intervenant en amont du lagon sont des éléments essentiels à la conservation et à la gestion de ce milieu si riche et fragile. Le concept de Gestion Intégrée des Zones Côtières intègre cette idée et insiste sur l'importance des relations existant entre le lagon et les bassins versants situés en amont. L'érosion des sols constitue l'un des processus de dégradation des milieux les plus importants en Nouvelle Calédonie. L'apport terrigène au lagon est loin d'être négligeable entraînant la sédimentation des milieux et la turbidité des eaux littorales, particulièrement néfaste pour la croissance corallienne. Son étude semble indispensable pour mieux cibler les actions prioritaires à engager dans le futur.

Le modèle statique développé dans le cadre de ce stage permet une spatialisation de l'aléa Erosion des sols grâce au croisement de divers indicateurs de l'érosion (prenant en compte aussi bien la morphologie du terrain que la géologie des sols, le type et la densité du couvert végétal mais aussi des phénomènes climatiques, comme les précipitations). Ainsi, les zones présentant la plus forte potentialité à l'érosion ont pu être précisément identifiées et localisées. Ce type de méthodologie, basée sur l'utilisation des outils de la géomatique, présente l'avantage d'être simple et donc aisément reproductible à d'autres territoires. Ainsi, les applications de ce travail sont multiples. Nous pouvons citer par exemple le projet de recherche « Nickel et son environnement » mené par le Centre National de Recherche Technologique qui réutilisera la méthodologie définie. De plus, les travaux de recherche concernant la biodiversité marine, réalisés par exemple dans le cadre du Programme CRISP (*Coral Reef Initiative for the South Pacific*), reprendront ce modèle afin d'identifier les principales sources d'apports terrigènes au lagon en divers endroits de Nouvelle Calédonie mais aussi et plus généralement dans les îles du Pacifique.

Cependant, il est important de préciser que cette méthode n'est pas idéale en tout point et présente certaines limites. Tout d'abord, la géomatique est une technique en pleine expansion à l'heure actuelle en Nouvelle Calédonie et les données numériques sont, pour de nombreuses thématiques, encore en état d'avancement et donc indisponibles pour le moment. Les données géographiques nécessaires pour cette étude n'ont donc pas pu être récupérées dans leur intégralité. Les données de pédologie par exemple, n'existent qu'à l'échelle de la Grande Terre, sur format papier et n'ont pas été révisées depuis plusieurs dizaines d'années. D'autres informations, comme les données climatiques, n'ont pas été fournies à l'échelle adaptée pour ce travail : les données de précipitations, sous forme d'une grille de points distants de 3 kilomètres, présentent une forte hétérogénéité avec le reste des données utilisées. Le modèle mis en place dans le cadre de ce stage résulte donc de compromis face aux informations disponibles actuellement en Nouvelle Calédonie. De plus, le principe même de la méthodologie développée ici peut faire l'objet de critiques. En effet, ce modèle se base presque exclusivement sur l'avis des experts. Ceci implique donc une certaine part de subjectivité. Il est donc primordial de préciser que les choix effectués tout au long de ce stage ne sont en aucun cas figés et sont au contraire soumis aux avis, potentiellement différents, d'autres experts.

Enfin, la poursuite de ce travail semble importante pour une amélioration du modèle. L'objectif majeur est d'aboutir à la mise en place d'un outil capable d'intégrer les données géographiques de manière automatique et dynamique, basé non plus uniquement sur l'expertise mais aussi sur une méthodologie statistique. Ainsi, la pondération des couches d'informations serait optimisée et la composante climatique pourrait être appréhendée avec toute la variabilité qui la caractérise, particulièrement en milieu tropical marqué par une saison humide très intense. De cette manière, la définition d'un aléa Erosion permettrait une plus grande adéquation avec la réalité du terrain et donc une meilleure orientation des actions de conservation et de gestion du littoral néo-calédonien.

BIBLIOGRAPHIE

- BATTI A. (2005) – Spatialisation des pluies extrêmes et cartographie de l'aléa « Erosion des sols » dans les bassins versants en amont du lagon Saint-Gilles (Île de la Réunion). Rapport Mastère SILAT, 54p.
- BENICHOUP., LE BRETON O (1986) – Prise en compte de la topographie pour la cartographie de champs pluviométrique statistiques : la méthode AURELHY, 6p.
- BOYEAU Y-E (2005) – Inventaire, cartographie et typologie des Sites d'Intérêts Biologique et Ecologique en Province Sud. Analyse spatiale de l'impact des feux par type de milieux naturels en Province Sud, 143 p.
- DUMAS P. (2004) – Caractérisation des littoraux insulaires : approche géographique par télédétection et S.I.G. pour une gestion intégrée, Application en Nouvelle-Calédonie. Thèse de doctorat, Orléans, 402 p.
- FOTSING J.M. (1998) – Les paysages Bamiléké : approche géographique des dynamiques rurales par télédétection, H.D.R. de Géographie et Environnement, Université de Paris IV Sorbonne, 750 p.
- GOURMELON F., ROBIN M. (2005) – SIG et littoral, Série Aménagement et Gestion du Territoire, Hermès Sciences Publications, 323p.
- GUERMOND Y. (2005) – Modélisations en géographie, Déterminismes et complexités, Hermès Sciences Publications, 389p.
- LE BISSONNAIS Y., MONTIER C., DAROUSSIN J., KING D. (1998) - Cartographie de l'aléa «Erosion des sols » en France. Edition IFEN, Collection Etudes et Travaux n° 18, août 1998, 77 p.
- LE BISSONNAIS Y., THORETTE J., BARDET C., DAROUSSIN J. (2002) – L'érosion hydrique des sols en France. Edition IFEN, 106p.
- MAURIZOT P., DELFAU M. (1995) – Cartographie de la sensibilité à l'érosion, Province Sud de Nouvelle Calédonie, Rapport R38660, 72p.
- MOQUET Agnès (2005) – Cartographie de la sensibilité au ruissellement, Bassin versant de la Blaise (Bassin de la Seine, Haute-Marne). Rapport Mastère SILAT, 28p.
- PARAYDEAU Sylvain (2002) – Modélisation distribuée des flux d'azote sur des petits bassins versants méditerranéens, CEMAGREF / ENGREF. Thèse de doctorat, Montpellier, 289p.
- ROOSE E., DE NONI G. (1998) – Apport de la recherche à la lutte anti-érosive, Bilan mitigé et nouvelle approche – Etude et Gestion des sols, ORSTOM, p.185-186.
- SOTI Valérie (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. Rapport Mastère SILAT, 39p.
- ZENGXIANG Z., XIAOFENG C., JITUAN L. (1996) – Mountain soil erosion mapping in Central Tibet using remote sensing and GIS, Institute of Remote Sensing Application, Beijing, p.255-263.

SIGLES ET ABREVIATIONS

| | |
|--------|---|
| ACP | Analyse en Composantes Principales |
| DAVAR | Direction des Affaires Vétérinaires, Alimentaires et Rurales |
| DIMENC | Direction de l'Industrie, des Mines et de l'Energie de Nouvelle Calédonie |
| DITTT | Direction des Infrastructures, de la Topographie et des Transports terrestres |
| DTSI | Direction des Technologies et des Services de l'Information |
| GIZC | Gestion Intégrée des Zones Côtières |
| ITRF | International Terrestrial Reference Frame |
| NDVI | Normalized Difference Vegetation Index |
| PNEC | Programme National Environnement Côtier |
| RGNC | Réseau Géodésique de Nouvelle Calédonie |
| RUSLE | Revised Universal Soil Loss Equation |
| THR | Très Haute Résolution |
| UTM | Universal Transverse Mercator |
| USLE | Universal Soil Loss Equation |
| WGS | World Geodetic System |

LISTE DES FIGURES

| | |
|---|----|
| Figure 1 : Carte de situation de la Nouvelle Calédonie dans l'océan Pacifique (DUMAS, 2006) | 5 |
| Figure 2 : Carte de la sensibilité des sols à l'érosion (DUMAS, 2004) | 7 |
| Figure 3 : Carte de situation de la zone d'étude..... | 9 |
| Figure 4 : Schéma récapitulatif des couches réalisées pour le modèle..... | 16 |
| Figure 5 : Présentation du Modèle Numérique de Terrain dans la Baie de Saint-Vincent..... | 17 |
| Figure 6 : Déclivité de la pente dans la Baie de Saint-Vincent | 18 |
| Figure 7 : Courbures horizontales dans la Baie de Saint-Vincent..... | 19 |
| Figure 8 : Courbures de profil dans la Baie de Saint-Vincent..... | 19 |
| Figure 9 : Extraction du réseau hydrographique théorique dans la Baie de Saint-Vincent..... | 20 |
| Figure 10 : Erodibilité des matériaux géologiques dans la Baie de Saint-Vincent | 21 |
| Figure 11 : Carte de l'occupation du sol dans la Baie de Saint-Vincent..... | 23 |
| Figure 12 : Localisation des pistes dans la Baie de Saint-Vincent..... | 24 |
| Figure 13 : Précipitations moyennes annuelles (1991-2000) dans la Baie de Saint-Vincent | 25 |
| Figure 14 : Standardisation du facteur Surfaces Drainées Cumulées..... | 27 |
| Figure 15 : Standardisation du facteur Précipitations..... | 27 |
| Figure 16 : Standardisation du facteur Courbures horizontales | 28 |
| Figure 17 : Standardisation du facteur Courbures de profil | 28 |
| Figure 18 : Standardisation du facteur Erodibilité des matériaux géologiques | 29 |
| Figure 19 : Standardisation du facteur Occupation du sol | 29 |
| Figure 20 : Standardisation du facteur Pentes | 29 |
| Figure 21 : Standardisation du facteur Pistes | 30 |
| Figure 22 : Spatialisation de l'aléa Erosion pour le scénario 1 | 32 |
| Figure 23 : Spatialisation de l'aléa Erosion pour le scénario 2 | 34 |
| Figure 24 : Calcul de la fourchette du modèle d'érosion (Scénario1 - Scénario2)..... | 35 |
| Figure 25 : Comparaison des résultats avec l'inventaire des sites dégradés sur Boulouparis..... | 36 |
| Figure 26 : Carte de localisation des bassins versants choisis pour la comparaison | 37 |
| Figure 27 : Visualisation de l'emprise géographique de l'image SPOT5 | 38 |
| Figure 28 : Schéma récapitulatif des traitements réalisés sur l'image SPOT5 | 40 |
| Figure 29 : Occupation du sol des bassins versants de la Tontouta et de la Ouenghi | 41 |
| Figure 30 : Visualisation de l'amélioration de la classification de la végétation..... | 41 |
| Figure 31 : Spatialisation de l'Aléa Erosion des bassins versants de la Tontouta et de la Ouenghi | 42 |
| Figure 32 : Carte présentant les écarts entre les résultats obtenus à des résolutions de 30 et 10 mètres..... | 43 |
| Figure 33 : Spatialisation de l'aléa Erosion issue du croisement de 4 paramètres selon la méthode statistique | 45 |
| Figure 34 : Spatialisation de l'Aléa Erosion issue du croisement des 8 couches d'informations..... | 46 |
| Figure 35 : Comparaison des résultats issus du croisement de 4 et de 8 paramètres | 46 |
| Figure 36 : Carte de comparaison des résultats issus des méthodes par expertise et statistique | 47 |

LISTE DES TABLEAUX

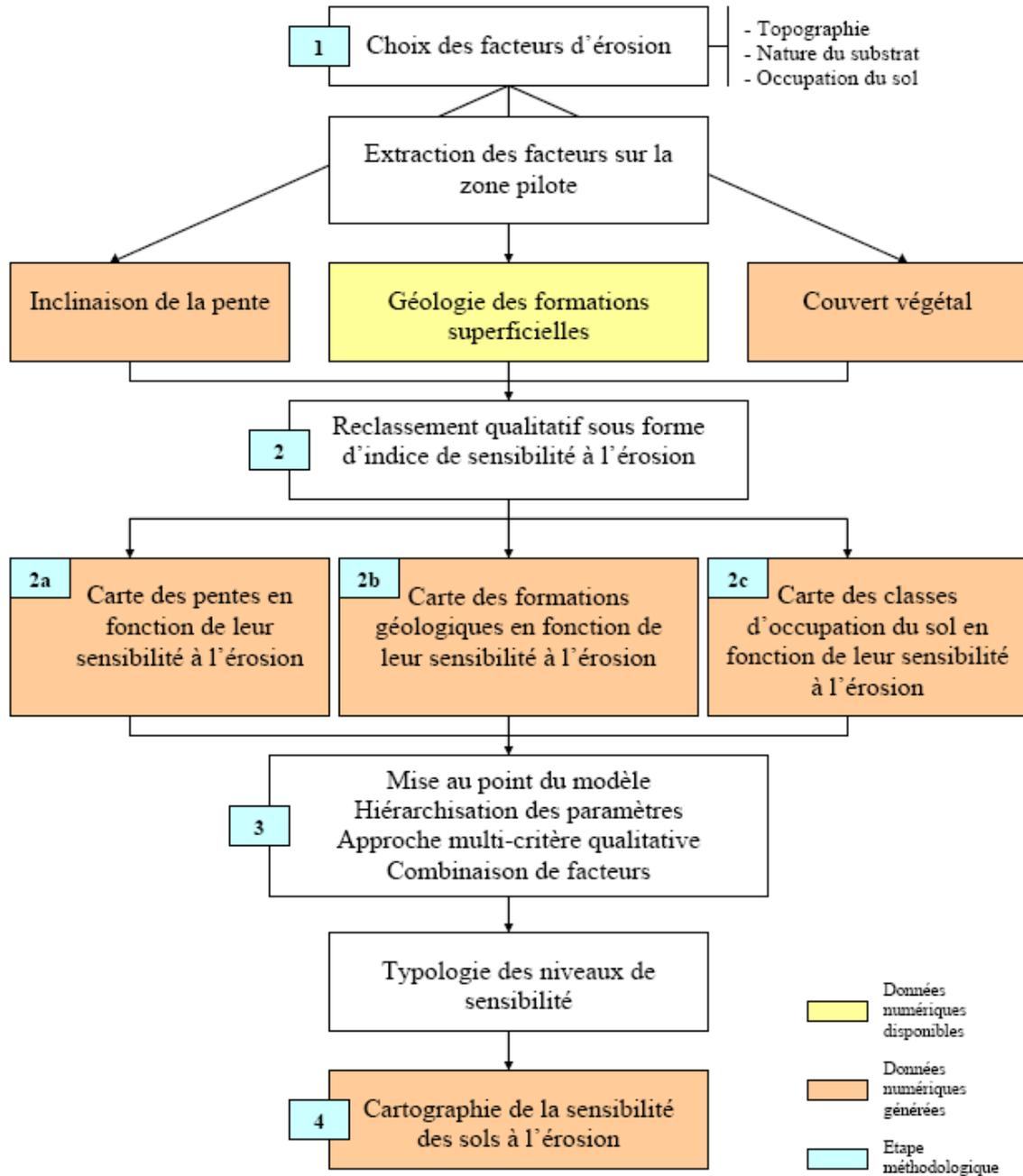
| | |
|--|----|
| Tableau 1 : Présentation des grandes catégories de critères de l'érosion (MAURIZOT et DELFAU, 1995).... | 6 |
| Tableau 2 : Tableau récapitulatif des paramètres de l'érosion utilisés par P. DUMAS en 2004 | 7 |
| Tableau 3 : Croissance de la population dans les communes de Dumbéa, Païta et Boulouparis (Données ISEE) | 8 |
| Tableau 4 : Paramètres envisagés pour la constitution du modèle d'érosion | 12 |
| Tableau 5 : Tableau récapitulatif des données récoltées auprès des organismes | 13 |
| Tableau 6 : Récapitulatif des couches d'information utilisées dans le modèle..... | 14 |
| Tableau 7 : Principales caractéristiques des données de végétation sur la zone d'étude..... | 22 |
| Tableau 8 : Pondérations attribuées aux couches du modèle d'érosion des sols | 30 |
| Tableau 9 : Matrice de comparaison des facteurs par paires pour le scénario 1 | 31 |
| Tableau 10 : Pondérations attribuées aux couches du modèles d'érosion pour le scénario 1 | 32 |
| Tableau 11 : Matrice de comparaison des facteurs par paires pour le scénario 2 | 33 |
| Tableau 12 : Pondérations attribuées aux couches du modèles d'érosion pour le scénario 2..... | 33 |

LISTE DES ANNEXES

| | | |
|-------------|--|------|
| ANNEXE I | METHODOLOGIE GENERALE DE CARTOGRAPHIE DE LA SENSIBILITE DES SOLS A L'EROSION / THESE P. DUMAS, 2004 | p.55 |
| ANNEXE II | ARBRE DECISIONNEL POUR LA CARTOGRAPHIE DE LA SENSIBILITE A L'EROSION THESE DE P. DUMAS, 2004 (D'APRES SOTI, 2003) | p.56 |
| ANNEXE III | TABLEAU RECAPITULATIF DES SYSTEMES GEODESIQUES UTILISES EN NOUVELLE CALEDONIE | p.57 |
| ANNEXE IV | CLASSEMENT DES FORMATIONS GEOLOGIQUES EN FONCTION DE LEUR ERODIBILITE | p.58 |
| ANNEXE V | CREATION DE LA COUCHE ERODIBILITE DES FORMATIONS GEOLOGIQUES | p.60 |
| ANNEXE VI | CREATION DE LA COUCHE OCCUPATION DU SOL | p.62 |
| ANNEXE VII | CREATION D'UN MODELE NUMERIQUE DE TERRAIN | p.66 |
| ANNEXE VIII | EXTRACTION DU RESEAU HYDROGRAPHIQUE THEORIQUE ET CALCUL DES AIRES DRAINEES CUMULEES | p.68 |
| ANNEXE IX | CREATION DE LA COUCHE PRECIPITATIONS | p.70 |
| ANNEXE X | EXTRAIT D'UN DES NOMBREUX ECHANGES ENTRE LA DTSI ET SPOT IMAGE | p.72 |
| ANNEXE XI | ARBRE DECISIONNEL DETERMINE PAR LA METHODE STATISTIQUE | p.74 |
| ANNEXE XII | METHODOLOGIE EMPLOYEE POUR LA REGRESSION LINEAIRE | p.75 |

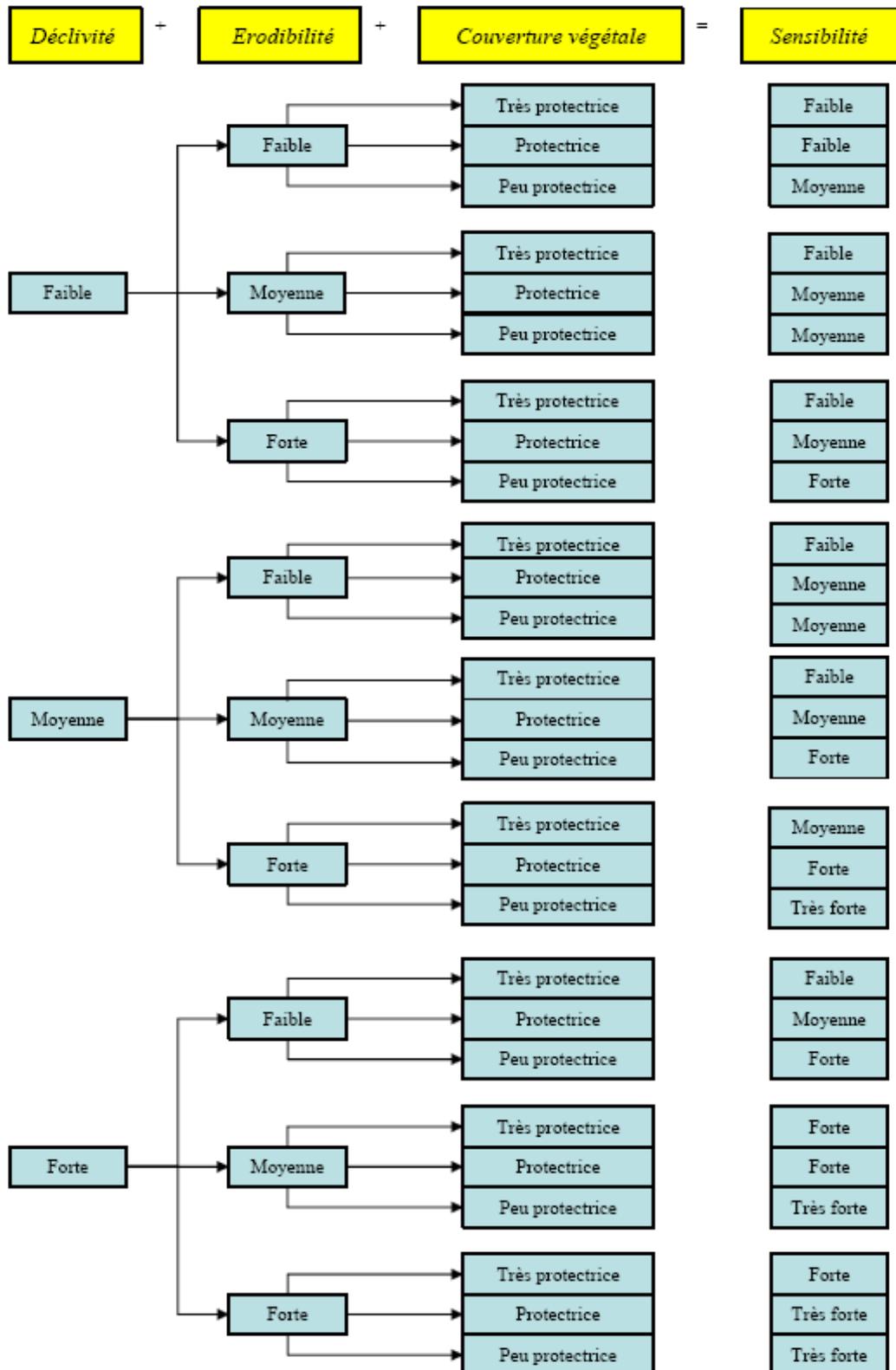
ANNEXE I

METHODOLOGIE GENERALE DE CARTOGRAPHIE DE LA SENSIBILITE DES SOLS A L'EROSION
THESE P.DUMAS, 2004



ANNEXE II

ARBRE DECISIONNEL POUR LA CARTOGRAPHIE DE LA SENSIBILITE A L'EROSION
 THESE DE P.DUMAS, 2004 (D'APRES SOTI, 2003)



ANNEXE III

TABLEAU RECAPITULATIF DES SYSTEMES GEODESIQUES UTILISES EN NOUVELLE CALEDONIE

La Nouvelle Calédonie utilise plusieurs systèmes géodésiques, différents selon la zone considérée. Depuis 1991, le référentiel RGNC a été défini pour remplacer l'ensemble de ces systèmes.

| SYSTEME GEODESIQUE | DESIGNATION | ELLIPSOÏDE ASSOCIE | MERIDIEN D'ORIGINE | REPERE FONDAMENTAL | PROJECTION(S) ASSOCIEE(S) | DEVENIR... |
|--|--------------------|--------------------|--------------------|----------------------------------|---|-----------------------------------|
| Système de la Grande Terre | IGN72 Grande Terre | International 1924 | Greenwich | Terme nord de la base de Gomen | UTM Fuseau 58 | Prochainement remplacé par RGNC91 |
| Système de Lifou | IGN 56 Lifou | International 1924 | Greenwich | Terme sud de la base de Goumé | UTM Fuseau 58 | Remplacé par RGNC91 en 1991-92 |
| Système de Maré | IGN53 Maré | International 1924 | Greenwich | Terme sud de la base de La Roche | UTM Fuseau 58 | Remplacé par RGNC91 en 1992 |
| Système d' Ouvéa | ST87 Ouvéa | WGS84 | Greenwich | Ouloup | UTM Fuseau 58 | Remplacé par RGNC91 en 1992 |
| Système de l' île des Pins | ST84 Ile des Pins | International 1924 | Greenwich | Pic Nga et Aéroport | UTM Fuseau 58 | Remplacé par RGNC91 en 1992 |
| Triangulation de Nouméa | Nouméa 74 | International 1924 | / | Ancien sémaphore de Nouméa | Lambert Nouméa 2 | |
| <p>Le Réseau géodésique de Nouvelle Calédonie (RGNC91) est la réalisation néo-calédonienne du système mondial ITRF90 (International Terrestrial Reference Frame 1990), lui-même compatible au système mondial WGS84 au niveau métrique. Il est appelé à remplacer tous les réseaux antérieurs définis ci-avant.</p> | | | | | | |
| Réseau Géodésique de Nouvelle Calédonie | RGNC91-93 | IAG, GRS80 | GreenWich | Doris Nouméa et 5 points SWP NC | Grande Terre et îles Loyauté : Lambert NC Zone économique hors Grande Terre et îles : UTM Fuseaux 57, 58, 59 | / |

Le Réseau Géodésique de Nouvelle Calédonie :

Désignation : RGNC91-93

Système géodésique de référence : ITRF90

Ellipsoïde associé : IAG GRS80 ; a = 6378137 ; 1/f = 298.257222210088

Méridien d'origine : Greenwich

Points de référence : Station Doris Nouméa (Nouvelle) et 5 points SWP NC

Projection associée Grande Terre et Îles Loyautés : Lambert NC

Longitude origine de la projection : 166° Est

Latitude origine de la projection : 21°30' Sud

Premier parallèle automécoïque : 20°40' Sud

Deuxième parallèle automécoïque : 22°20' Sud

Coordonnées origine : X = 400000m

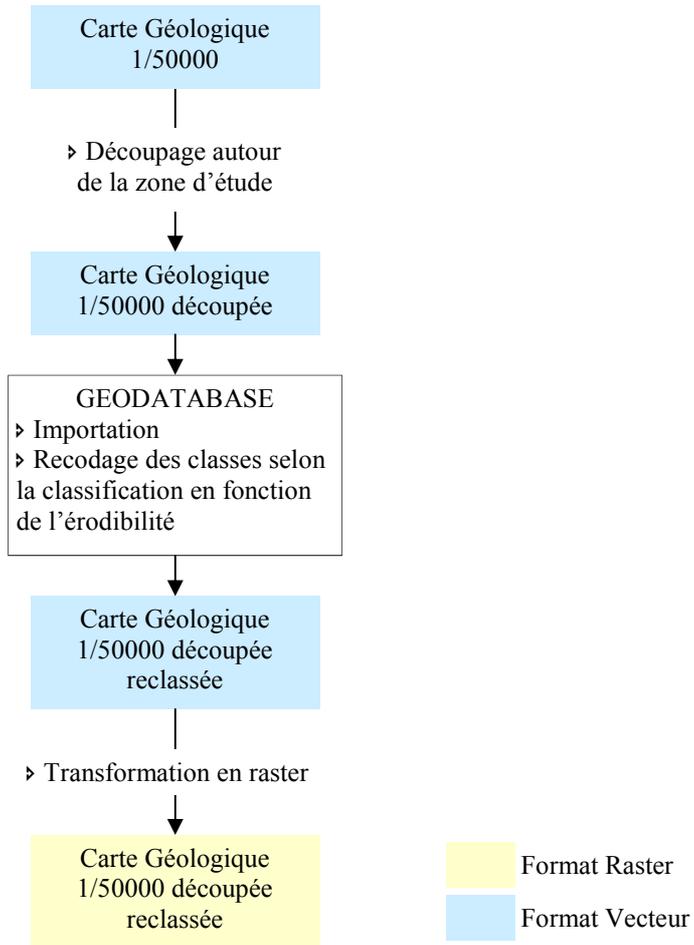
Y = 300000m

ANNEXE IV
CLASSEMENT DES FORMATIONS GEOLOGIQUES EN FONCTION DE LEUR ERODIBILITE

| UNITE | LITHOLOGIE | ERODIBILITE |
|---------------------------------------|--|-------------|
| Nappe des péridotites | Altéranances dunités/harzburgites | 1 |
| Nappe des péridotites | Amphibolites | 1 |
| Nappe des péridotites | Dunités | 1 |
| Nappe des péridotites | Harzburgites | 1 |
| Nappe des péridotites | Péridotites indifférenciées | 1 |
| Nappe des péridotites | Wehrlites | 1 |
| Crétacé supérieur - Paléocène | Ignimbrites, ryolithes, trachytes | 2 |
| Nappe des péridotites | Serpentinites | 3 |
| Unités non définies | Serpentinites | 3 |
| Unités ophiolitiques anté-sénoniennes | Serpentinites | 3 |
| Crétacé supérieur - Paléocène | Basaltes, andésites | 4 |
| Flysch éocène | Brèches monogéniques basaltiques | 4 |
| Formations d'altération | Péridotites saines pouvant comporter des formations d'altération | 4 |
| Intrusifs post-péridotites | Diorites, diorites quartziques, amphibolites | 4 |
| Intrusifs post-péridotites | Gabbros pegmatoïdes, amphibolites | 4 |
| Intrusifs post-péridotites | Granodiorites, adamellites, microgranites | 4 |
| Intrusifs post-péridotites | Listvénites | 4 |
| Intrusifs post-péridotites | Pyroxénolites | 4 |
| Nappe des péridotites | Gabbros cumulats | 4 |
| Unité de Nouméa | Grès volcanoclastiques turbiditiques | 4 |
| Unité de Oua-Tom-La-Foa | Grès volcanoclastiques | 4 |
| Unité de Oua-Tom-La-Foa | Grès volcanoclastiques | 4 |
| Unité de Poya | Basaltes et dolérites indifférenciés | 4 |
| Unité de Sarraméa | Grès et conglomérats volcanoclastiques | 4 |
| Unité de Sarraméa | Grès, silts et conglomérats volcanoclastiques | 4 |
| Unité de Teremba | Grès fins et silts volcanoclastiques, Formation de Bouraké | 4 |
| Unité de Teremba | Grès fins et silts volcanoclastiques, Formation de Tani | 4 |
| Unité de Teremba | Grès grossiers et conglomérats volcanoclastiques, Formation de Bouraké | 4 |
| Unité de Teremba | Grès volcanoclastiques et lumachelles à Monotis, Formation des lumachelles de l'îlot Leprédour | 4 |
| Unité de Teremba | Grès volcanoclastiques indifférenciés | 4 |
| Unité de Teremba | Grès volcanoclastiques, Formation de l'îlot Testard | 4 |
| Unité de Thio | Grès volcanoclastites | 4 |
| Unités ophiolitiques de type Koh | Basaltes, dolérites, gabbros indifférenciés | 4 |
| Unités ophiolitiques de type Koh | Dolérites, basaltes | 4 |
| Unités ophiolitiques de type Koh | Filons et complexes filoniens doléritiques | 4 |
| Crétacé supérieur - Paléocène | Calcaires micritiques à cherts et foraminifères planctoniques | 5 |
| Crétacé supérieur - Paléocène | Calcaires micritiques à cherts et foraminifères planctoniques, cataclasés | 5 |
| Crétacé supérieur - Paléocène | Cherts noirs ("Phtanites") | 5 |
| Crétacé supérieur - Paléocène | Cherts noirs cataclasés | 5 |
| Crétacé supérieur - Paléocène | Cherts noirs, calcaires micritiques et argilites indifférenciés | 5 |
| Crétacé supérieur - Paléocène | Schistes, cherts et calcaires cataclasés | 5 |
| Crétacé supérieur - Paléocène | Tufs remaniés acides | 5 |
| Crétacé supérieur - Paléocène | Tufs remaniés basiques | 5 |
| Flysch éocène | Flysch grés-carbonaté indifférencié | 5 |
| Flysch éocène | Poudingues à éléments de micrites | 5 |
| Unité de Sarraméa | Siltites micacées noires à Ammonites | 5 |
| Unité de Teremba | Pyro-épiciastites, laves, Formation de Mara | 5 |
| Unité de Thio | Cherts, argilites, silts et grès volcanoclastiques | 5 |
| Unité de Thio | Siltites micacées charbonneuses | 5 |
| Unités métamorphiques intermédiaires | Schistes dérivés d'une série volcanosédimentaire | 5 |

| | | |
|---------------------------------------|--|----|
| Flysch éocène | Brèches à éléments dominants de calcaires et cherts (Brèches de Buadio, La Courie, Nassirah) | 6 |
| Flysch éocène | Calcaire bioclastique glauconieux détritique (Calcaire de Uitoé) | 6 |
| Flysch éocène | Flysch à olistolites de micrite, chert, biosparite, flysch carbonaté, olistostrome | 6 |
| Flysch éocène | Flysch carbonaté bioclastique et gréseux | 6 |
| Flysch éocène | Flysch gréseux volcanoclastique à intercalations de brèches de micrite et chert | 6 |
| Flysch éocène | Flysch indifférencié | 6 |
| Unité de la Boghen | Ensemble polymétamorphique indifférencié | 6 |
| Formations d'altération | Cuirasses disloquées et démantelées | 7 |
| Formations d'altération | Cuirasses en place sur dolérites ou gabbros | 7 |
| Formations d'altération | Cuirasses en place sur péridotites indifférenciées | 7 |
| Crétacé supérieur - Paléocène | Argilites et silts à nodules cataclasés | 8 |
| Crétacé supérieur - Paléocène | Argilites silteuses noires à sulfures et nodules (niveau des Mamelons rouges) | 8 |
| Crétacé supérieur - Paléocène | Argilites, grés, schistes tuffacés indifférenciés | 8 |
| Formations d'altération | Gravillons ferrugineux sur altérites | 8 |
| Formations d'altération | Gravillons ferrugineux sur roches et altérites | 8 |
| Unité de Poya | Argilites et cherti-tuffites kakis, Faciès Koné | 8 |
| Formations d'épandages et de versants | Colluvions indifférenciées | 9 |
| Formations d'épandages et de versants | Epandages anciens à éléments de silice et produits ferrugineux | 9 |
| Formations d'épandages et de versants | Epandages de blocs de cherts dépigmentés (Caillasse siliceuse) | 9 |
| Formations d'épandages et de versants | Formations de pente à débris ferrugineux | 9 |
| Formations fluviatiles et littorales | Alluvions actuelles et récentes | 9 |
| Formations fluviatiles et littorales | Alluvions anciennes | 9 |
| Formations fluviatiles et littorales | Alluvions anciennes associées à une altérations ferrugineuses | 9 |
| Formations fluviatiles et littorales | Alluvions anciennes latéritiques (Formation fluvio-lacustre) | 9 |
| Formations fluviatiles et littorales | Alluvions et formations littorales associées | 9 |
| Formations fluviatiles et littorales | Brèche, conglomérat, grés de la haute Tontouta | 9 |
| Formations fluviatiles et littorales | Cônes de déjection indifférenciés | 9 |
| Formations fluviatiles et littorales | Eolianites | 9 |
| Formations fluviatiles et littorales | Formations littorales indifférenciées | 9 |
| Formations fluviatiles et littorales | Marais supratidal | 9 |
| Formations anthropiques | Décharges minières contrôlées | 10 |
| Formations anthropiques | Décharges minières non contrôlées et coulées de matériaux | 10 |
| Formations anthropiques | Remblais non minier sur la zone maritime | 10 |
| Formations anthropiques | Zones d'exploitations et déblais miniers | 10 |
| Formations d'altération | Latérites épaisses sur péridotites | 10 |
| Formations d'altération | Latérites indifférenciées sur péridotites | 10 |
| Formations d'altération | Latérites minces sur péridotites | 10 |
| Formations d'altération | Latérites sur grano-diorites | 10 |
| Formations d'épandages et de versants | Coulées de débris anciennes | 10 |
| Formations d'épandages et de versants | Eboulis de blocs de péridotites | 10 |
| Formations d'épandages et de versants | Eboulis de blocs de silice | 10 |
| Formations fluviatiles et littorales | Dépôts de marais et mangroves actuels | 10 |

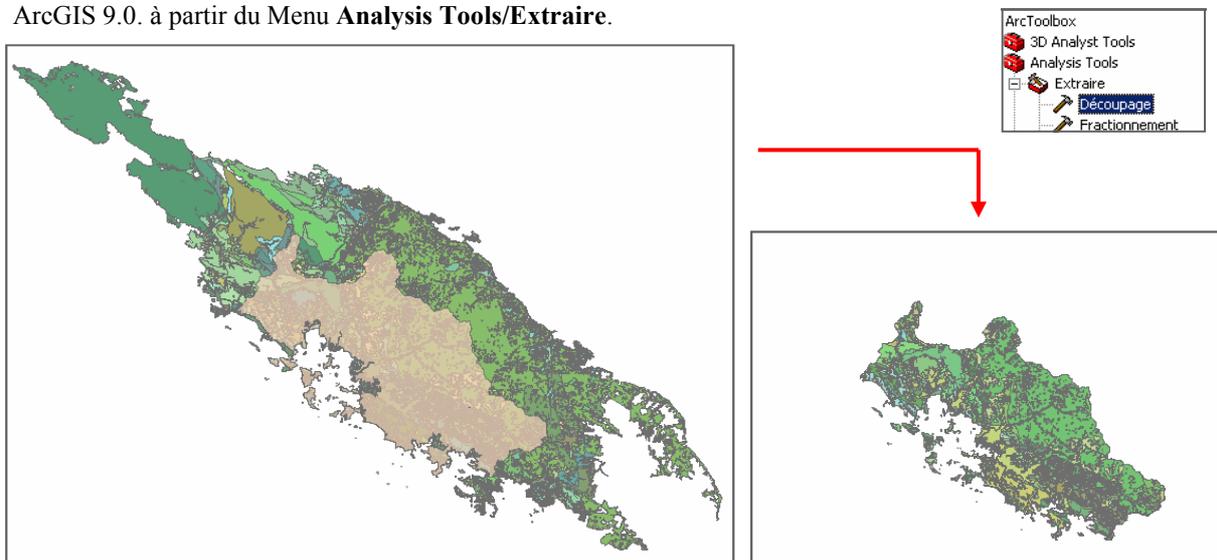
ANNEXE V
CRÉATION DE LA COUCHE ERODIBILITE DES MATERIAUX GEOLOGIQUES



Un extrait de la carte **Harmonisation de la couverture cartographique géologique numérique de la Nouvelle-Calédonie** (MAURIZOT P., SCHMITT C., VENDÉ-LECLERC M., 2005) a été fourni au format Shape.

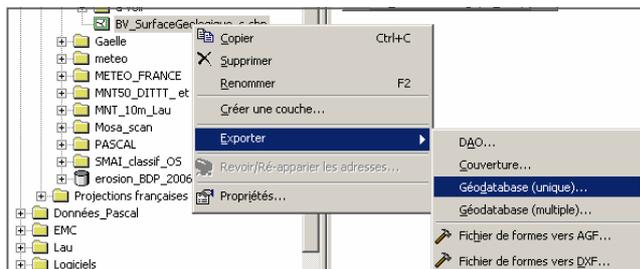
I. Découpage de la carte géologique en fonction de la zone étudiée

La première étape consiste à découper la donnée en fonction de la zone étudiée. Ce découpage est réalisé sur ArcGIS 9.0. à partir du Menu **Analysis Tools/Extraire**.

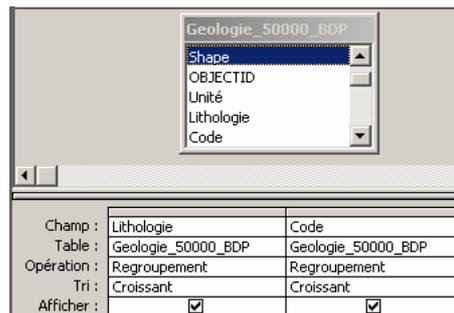


II. Recodage des classes en fonction de l'indice d'érodibilité

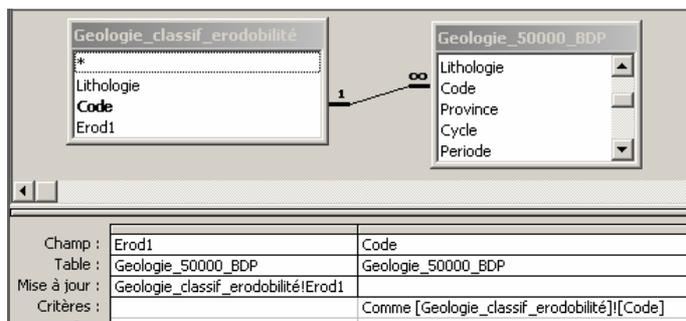
Chaque classe lithologique a fait l'objet d'un reclassement en fonction de sa sensibilité à l'érosion. L'attribution des ces nouveaux codes (allant de 1 à 10) aux polygones du shapefile est réalisée dans une géodatabase sous ACCESS.



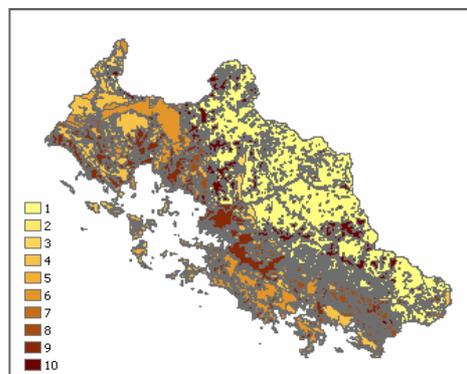
Une fois la table Géologie importée sous ACCESS une **requête 'Création de table'** permet d'extraire les différents codes lithologiques de la zone d'étude. La liste ainsi créée peut être complétée par un nouveau champ dans lequel les codes d'érodibilité seront saisis.



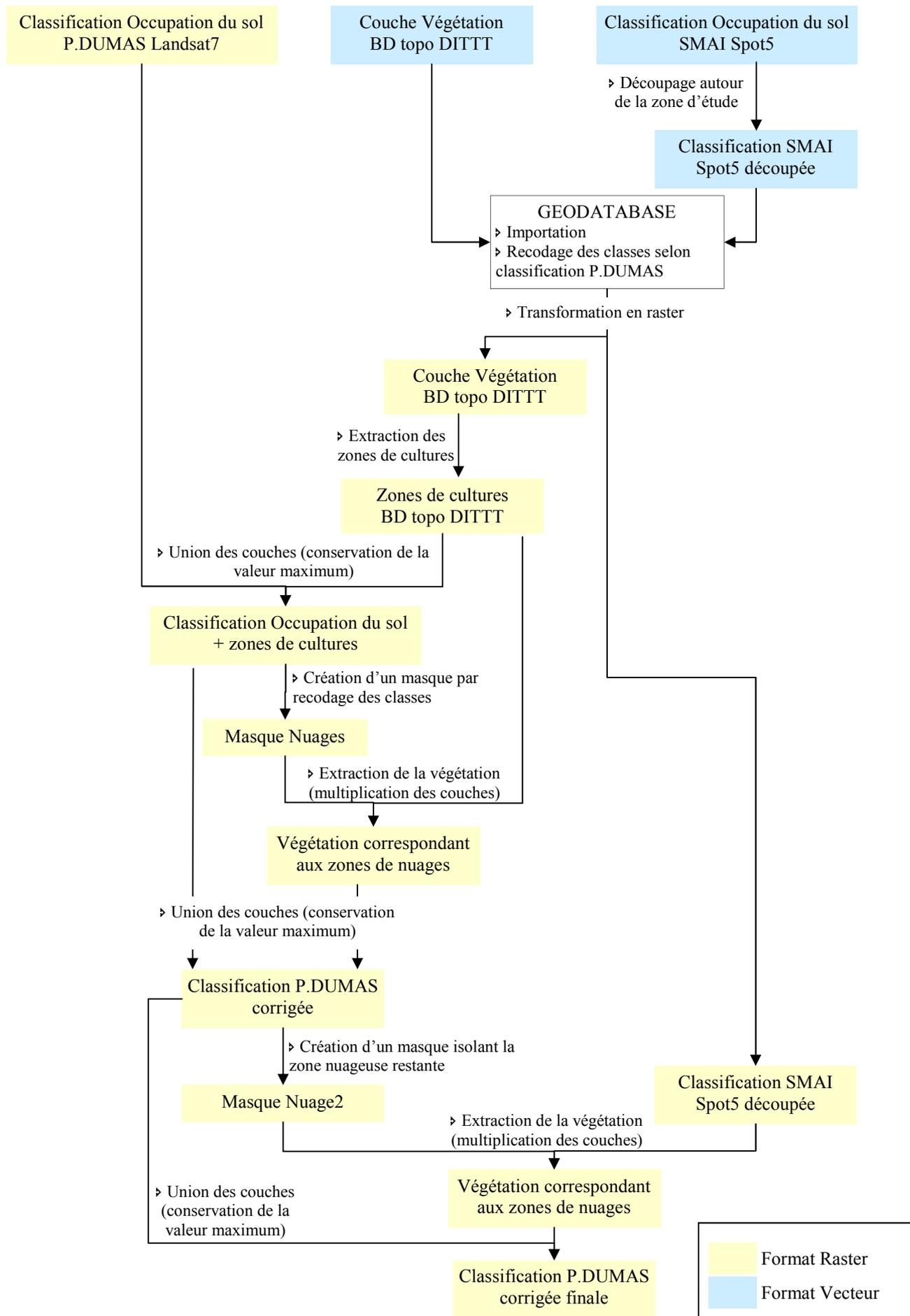
Un nouveau champ doit être créé dans la table Géologie. Ce champ est rempli grâce à la table créée précédemment, à l'aide d'une **requête de Mise à jour**.



Une analyse thématique peut maintenant être réalisée en fonction de l'érodibilité des matériaux de la zone étudiée. Cette analyse peut être transformée en raster afin d'être utilisée dans le modèle d'érosion des sols.



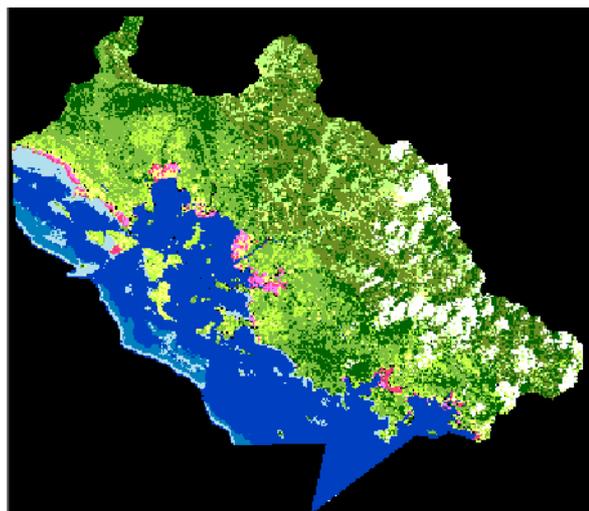
ANNEXE VI
CRÉATION DE LA COUCHE OCCUPATION DU SOL



La classification réalisée par P.DUMAS lors de sa thèse est issue d'images Landsat7 de 2000 et 2001. Ne disposant pas d'images Landsat plus récentes, la classification existante a été réutilisée puis combinée avec d'autres données pour rajouter des informations sur les zones de cultures et combler les manques d'informations dus aux nuages :

- couche de végétation issue de la BD Topo de la DITTT,
- classification à partir d'images SPOT5 (1994 à 1996) de la DTSI,

avec une préférence pour la cartographie DITTT, plus précise et plus exhaustive (Y-E. BOYEAU, 2005).



I. Homogénéisation des couches d'informations

Les données de la DITTT et de la DTSI sont au format vectoriel et présentent une typologie différente de celle définie par P.DUMAS dans sa classification. Une étape d'homogénéisation est donc nécessaire.

La couche Végétation de la DITTT est importée dans une Géodatabase via ArcCatalog :

| | OBJECTID | Shape | CODE_NEIGE | CODE_BD | Shape_Length | Shape_Area |
|---|----------|-----------------------|------------|---------|--------------|--------------|
| ▶ | 1 | Donnée binaire 4.2.1. | 404 | 404 | 58.052116217 | 13.326659085 |
| | 2 | Donnée binaire 4.2.1. | 404 | 404 | 81.166374093 | 26.710376981 |
| | 3 | Donnée binaire 4.2.1. | 404 | 404 | 7.1557116565 | 1.4366953007 |
| | 4 | Donnée binaire 4.2.1. | 404 | 404 | 22.348211416 | 2.3384428753 |
| | 5 | Donnée binaire 4.2.1. | 404 | 404 | 34.484725621 | 10.039713016 |
| | 6 | Donnée binaire 4.2.1. | 404 | 404 | 248.82018547 | 435.40809238 |
| | 7 | Donnée binaire 4.2.1. | 404 | 404 | 18.745359839 | 5.9873952021 |
| | 8 | Donnée binaire 4.2.3. | 405 | 405 | 339.16003146 | 295.9175169 |
| | 9 | Donnée binaire 4.2.3. | 405 | 405 | 102.52185913 | 61.296469622 |
| | 10 | Donnée binaire 4.2.3. | 405 | 405 | 49.329745743 | 16.210091496 |
| | 11 | Donnée binaire 4.2.3. | 405 | 405 | 71.9867685 | 9.8315624065 |

Le recodage des classes de végétation implique la création d'une table de correspondance entre les codes attribués par la DITTT et ceux de P.DUMAS.

Les zones de cultures, qui n'avaient pas pu être extraites à partir de l'image Landsat, ont été délimitées par la DITTT. Elles seront conservées dans une nouvelle classe codée 15.

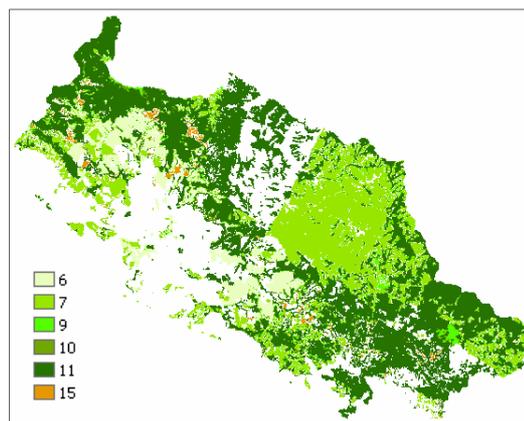
| | code_bd | code_pascal |
|---|---------|-------------|
| ▶ | 404 | 11 |
| | 405 | 7 |
| | 406 | 15 |
| | 407 | 11 |
| | 408 | 15 |
| | 409 | 9 |
| | 410 | 11 |
| | 411 | 11 |
| | 412 | 6 |
| | 413 | 9 |
| | 414 | 10 |

Une requête de **Mise à jour** permet ensuite de remplir le nouveau champ créé dans la table Végétation, correspondant aux nouveaux codes attribués aux classes.

| | OBJECTID | Shape | CODE_NEIGE | CODE_BD | Shape_Length | Shape_Area | code_pascal |
|---|----------|-----------------------|------------|---------|--------------|--------------|-------------|
| ▶ | 1 | Donnée binaire 4.2.1. | 404 | 404 | 58.052116217 | 13.326659085 | 11 |
| | 2 | Donnée binaire 4.2.1. | 404 | 404 | 81.166374093 | 26.710376981 | 11 |
| | 3 | Donnée binaire 4.2.1. | 404 | 404 | 7.1557116565 | 1.4366953007 | 11 |
| | 4 | Donnée binaire 4.2.1. | 404 | 404 | 22.348211416 | 2.3384428753 | 11 |
| | 5 | Donnée binaire 4.2.1. | 404 | 404 | 34.484725621 | 10.039713016 | 11 |
| | 6 | Donnée binaire 4.2.1. | 404 | 404 | 248.82018547 | 435.40809238 | 11 |
| | 7 | Donnée binaire 4.2.1. | 404 | 404 | 18.745359839 | 5.9873952021 | 11 |
| | 8 | Donnée binaire 4.2.3. | 405 | 405 | 339.16003146 | 295.9175169 | 7 |

L'ajout de ce champ à la couche Végétation de la DITTT permet la création, dans ArcGIS, d'un raster ayant comme valeurs de pixel les mêmes codes que ceux utilisés dans la classification Landsat7 (ainsi que le code 15 correspondant aux zones de cultures).

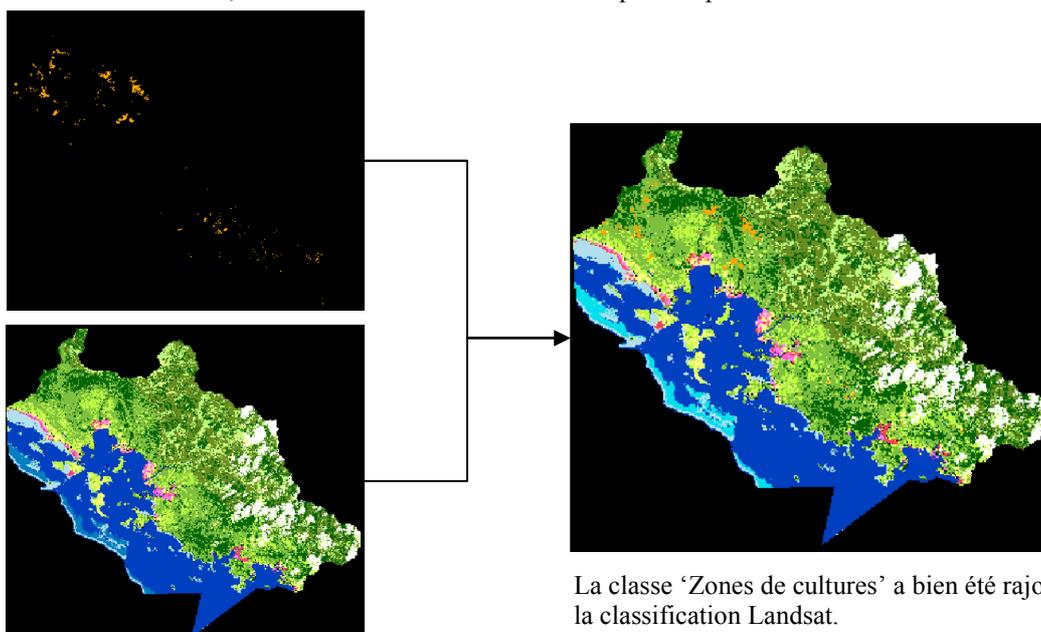
Cette couche vectorielle peut ensuite être rasterisée et exportée au format ERDAS Imagine (.img).



II. Ajout de la classe 'Zones de cultures' à la classification Landsat

Les zones de cultures de la DITTT doivent être rajoutées à la classification Landsat. L'image créée précédemment est recodée sous ERDAS Imagine, de manière à ne conserver que la classe codée 15.

Cette information doit ensuite être ajoutée à la classification Landsat. Pour cela, la fonction **Overlay** sous ERDAS Imagine permet de réaliser une union des deux images, en conservant la valeur de pixel maximum. Dans la classification Landsat, les classes sont codées de 0 à 14 : toutes les classes seront donc conservées sauf au niveau des zones de cultures, où les classes existantes seront remplacées par la nouvelle classe 15.

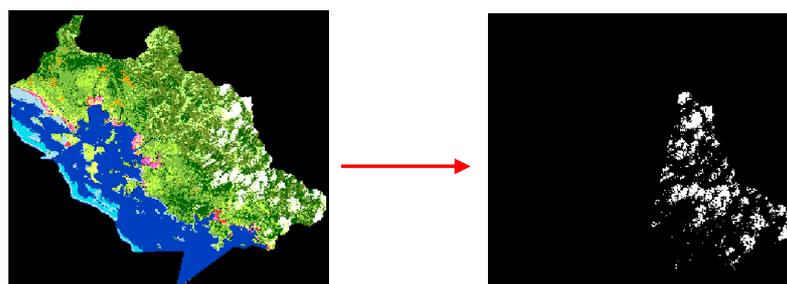


La classe 'Zones de cultures' a bien été rajoutée à la classification Landsat.

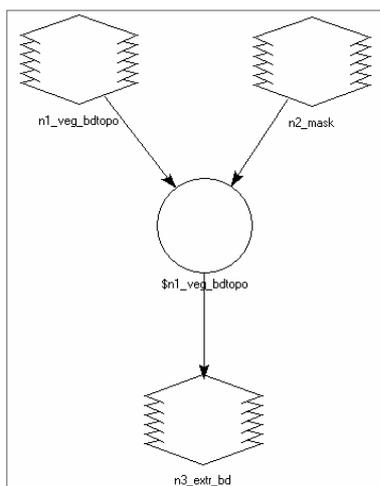
III. Création d'un masque Nuages

La zone nuageuse à combler doit être extraite de la classification Landsat pour créer un masque (qui servira à extraire la végétation sur le raster réalisé à l'étape précédente). Ce masque est obtenu par **recodage** des pixels de la classification sous ERDAS :

- les pixels correspondant aux nuages sont recodés 1,
- tous les autres pixels sont recodés 0.

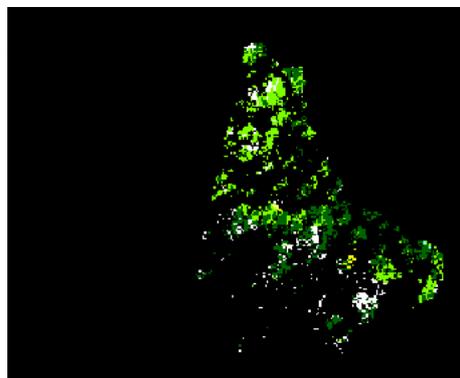


IV. Extraction de la végétation de la DITTT correspondant aux zones nuageuses



Les couches Masque et Végétation sont **multipliées** sous ERDAS à l'aide du Model Maker. Seules les zones de végétation correspondant aux nuages seront conservées, le reste de l'image étant multiplié par zéro.

Le résultat obtenu correspond bien à l'extraction de la couche végétation sur la zone nuageuse :



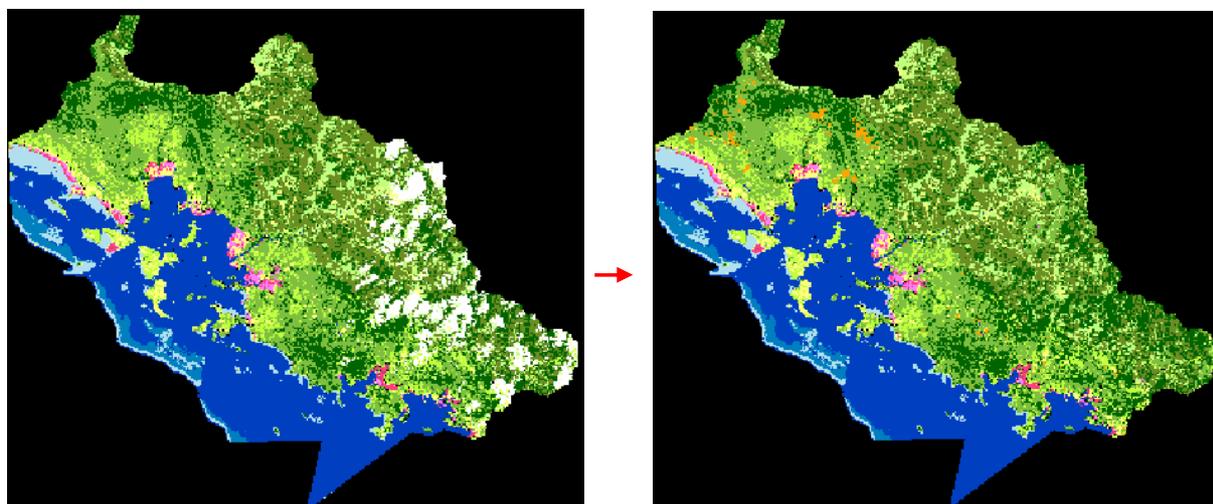
V. Combinaison des données

Il reste à rassembler les informations sur une seule et même image. Pour cela, la fonction **Overlay** sous ERDAS Imagine (Cf. Paragraphe II) est utilisée. Dans la classification Landsat, seules les parties correspondant aux nuages (et codées 1) seront remplacées par les données de végétation extraites de la cartographie DITTT.

Certaines parties restent sans information. Pour les combler, la couche de la DTSI (classification à partir d'images SPOT datant de 1994 à 1996) a été utilisée. La manipulation est identique à celle décrite précédemment.

| code_smai | code_pascal |
|-----------|-------------|
| 0 | 0 |
| 1 | 0 |
| 2 | 8 |
| 3 | 3 |
| 4 | 4 |
| 5 | 5 |
| 6 | 6 |
| 7 | 7 |
| 8 | 9 |
| 9 | 10 |
| 10 | 11 |

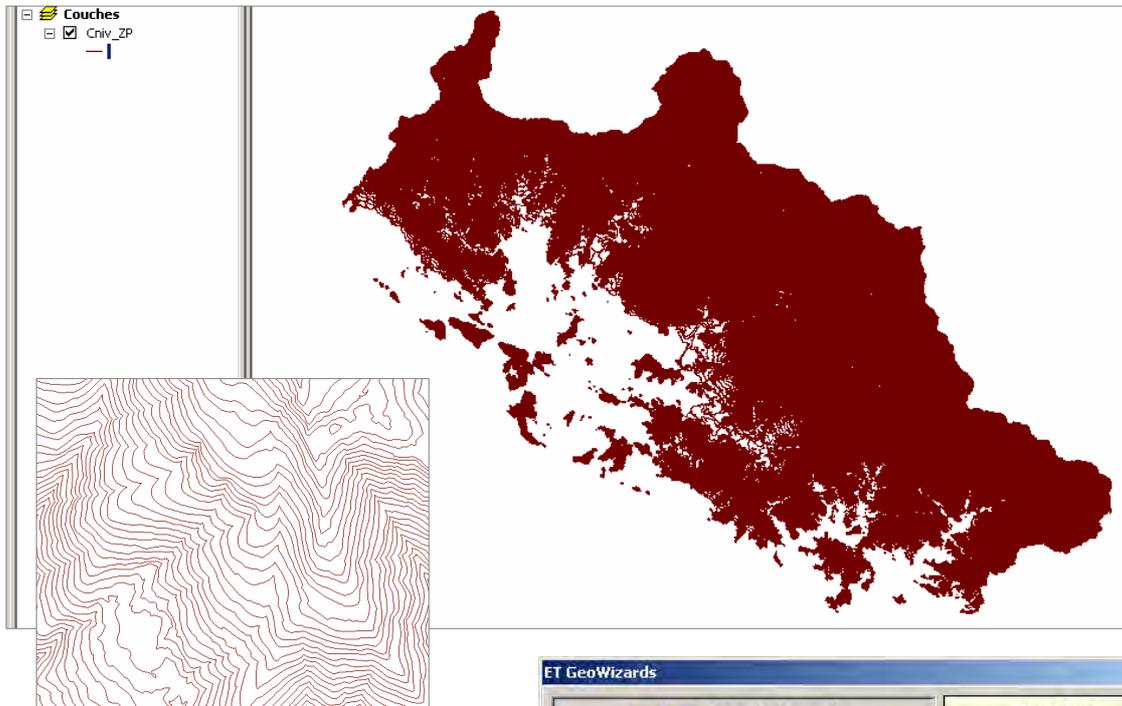
La couche finale obtenue correspond à la classification de P.DUMAS réalisée à partir d'images Landsat7, améliorée par la combinaison avec d'autres données. Cette manipulation permet d'obtenir une couche d'occupation du sol renseignée sur la totalité de la surface étudiée.



ANNEXE VII CRÉATION D'UN MODÈLE NUMÉRIQUE DE TERRAIN

I. Génération d'un fichier de points

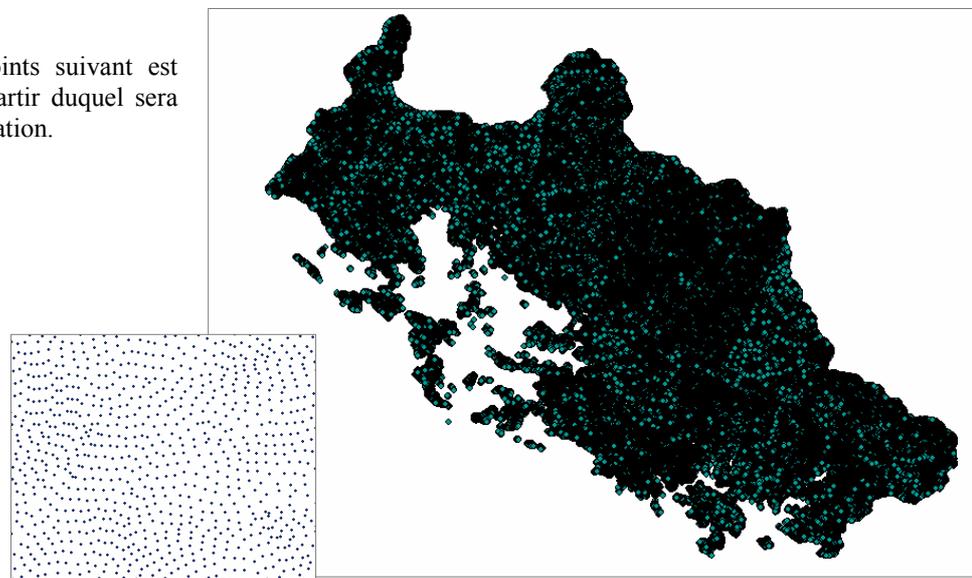
Nous disposons des courbes de niveaux espacées de 10 mètres sur la zone d'étude (données DITTT©).



L'outil **ET Geowizards** propose une fonction permettant d'extraire des points à partir de polygones, en précisant l'espacement souhaité entre chaque points.
Dans notre cas, un espacement de 30 mètres a été choisi.

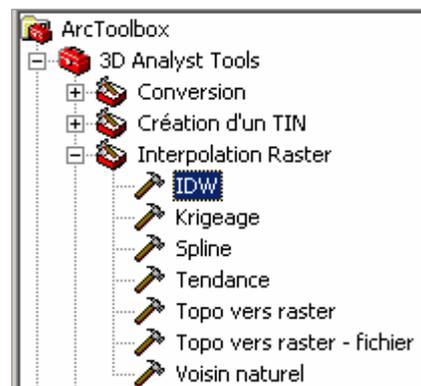


Le fichier de points suivant est alors obtenu, à partir duquel sera réalisée l'interpolation.

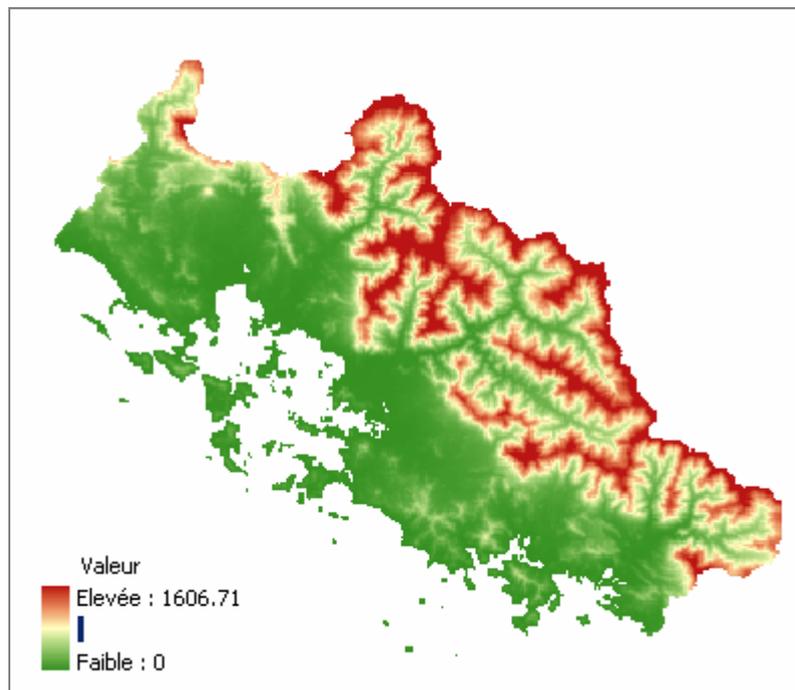


II. Interpolation par la méthode IDW

L'extension 3D Analyst d'ArcGIS propose différentes méthodes d'interpolations. Nous utiliserons ici la méthode IDW (Inverse Distance Weight).

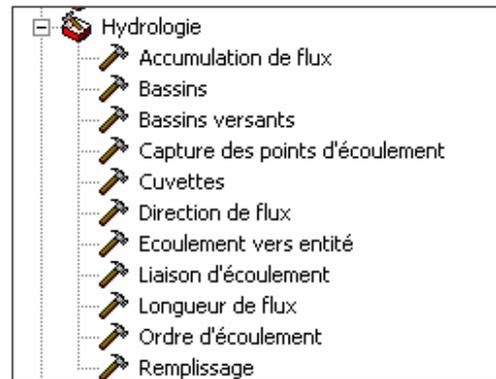


Résultat obtenu :



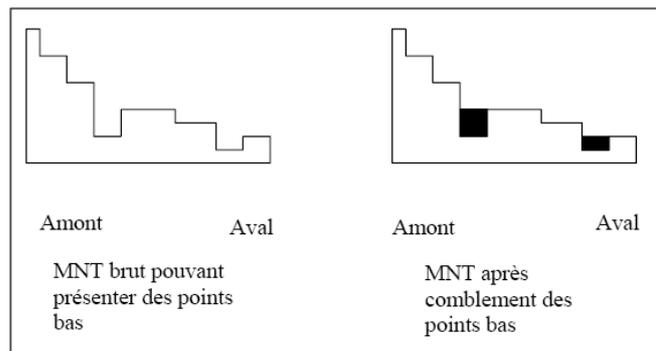
ANNEXE VIII
EXTRACTION DU RÉSEAU HYDROGRAPHIQUE THÉORIQUE
ET CALCUL DES AIRES DRAINÉES CUMULÉES

Dans ArcGIS 9.0, l'extension Spatial Analyst propose un module Hydrologie permettant de faire différents calculs tels que pentes, directions d'écoulement, bassins versants, etc. à partir du Modèle Numérique de Terrain.



I. Pré-traitements : Corrections du MNT par comblement des points bas

Le MNT comporte des points bas dans lesquels l'eau ne peut virtuellement pas se déplacer. Ces zones sont souvent dues à des imprécisions du MNT utilisé. Le traitement de ces zones est alors nécessaire pour permettre les écoulements vers l'aval. Une étape de comblement des points bas est réalisée, comme schématisée à la figure suivante (PARAYDEAU S., 2002) :



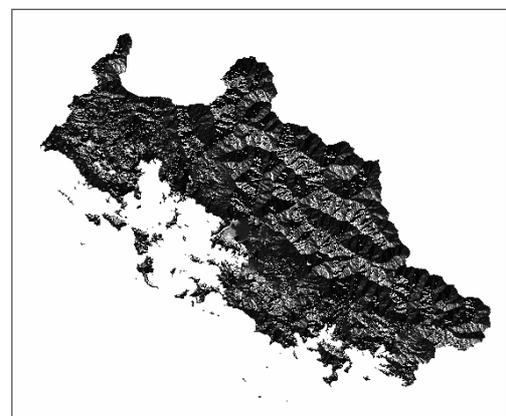
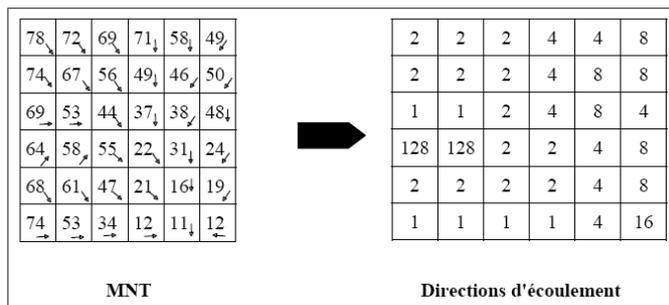
► **Identification des points bas**

Pour utiliser cette fonction, il est nécessaire de générer auparavant un raster de direction des écoulements (Fonction **Direction de flux**) :

Cette fonction permet la création d'un raster de direction des écoulements à partir de chaque pixel vers son voisin de plus faible altitude. Les valeurs pour chaque direction sont :

| | | |
|----|----|-----|
| 32 | 64 | 128 |
| 16 | | 1 |
| 8 | 4 | 2 |

Le raster en sortie est un raster intégrant des valeurs de 1 à 128 :



Résultat de la fonction « Direction d'écoulement »

L'identification des points bas (par la Fonction **Cuvettes**) peut maintenant être réalisée, à partir du raster de direction créé précédemment.

ANNEXE IX CRÉATION DE LA COUCHE PRECIPITATIONS

Les données météorologiques issues du modèle AURELHY ont été fournies par Météo France sous forme d'un fichier texte comprenant 3 colonnes :

- la longitude en degré,
- La latitude en degré,
- Les hauteurs de précipitations en mm.

| | | |
|------------|--------|---|
| 165.748333 | -22.33 | 0 |
| 165.776667 | -22.33 | 0 |
| 165.806667 | -22.33 | 0 |
| 165.835 | -22.33 | 0 |
| 165.863333 | -22.33 | 0 |
| 165.893333 | -22.33 | 0 |
| 165.921667 | -22.33 | 0 |
| 165.951667 | -22.33 | 0 |
| 165.981667 | -22.33 | 0 |

I. Génération d'une classe d'entités ponctuelles dans ArcGIS

I.1. Importation dans Excel

Le fichier doit être importé dans Excel et réenregistré au format dBASE IV. Les colonnes sont renommées X, Y et Z. Attention : le format des cellules ne doit pas être « standard ».

I.1. Importation dans ArcMAP

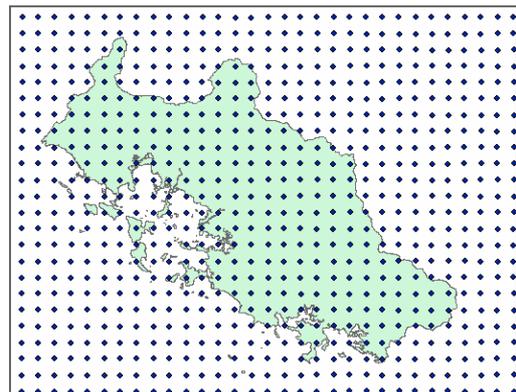


Le fichier .dbf peut être ouvert dans ArcMAP.

Dans l'explorateur de source (à gauche), l'accès à la fonction « Afficher données XY » est réalisé par un clic droit sur la couche. Cette fonction permet de spécifier les colonnes à utiliser pour spécifier les coordonnées X et Y.



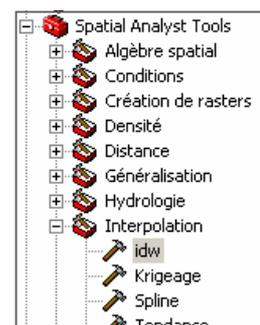
Un thème de la table d'évènement est alors créé :

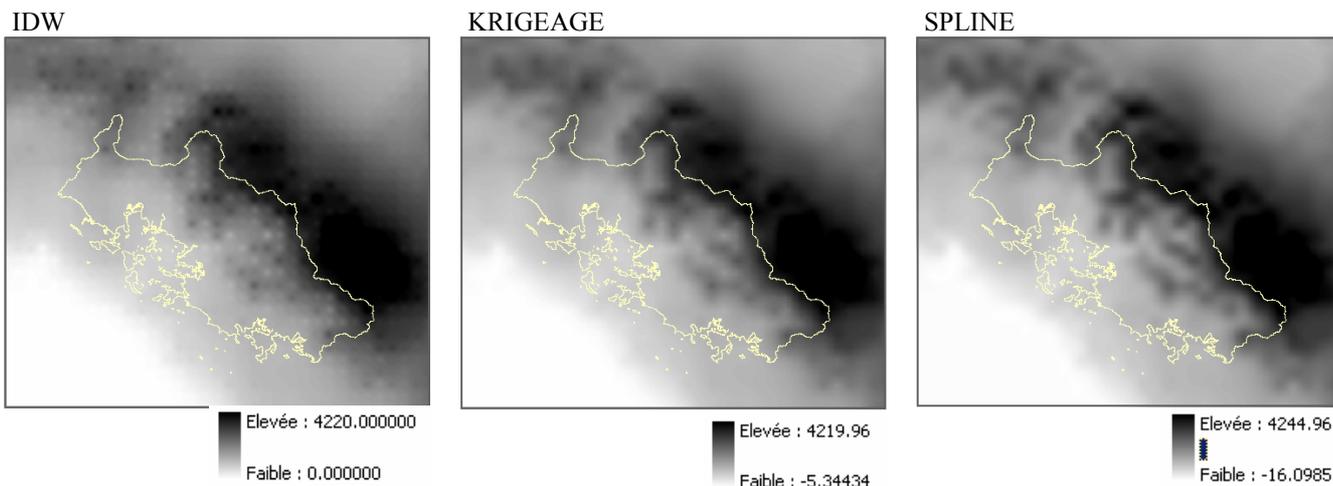


II. Création d'une couche Raster par interpolation

Le module Spatial Analyst dans ArcGIS propose différentes méthodes d'interpolations de données.

Dans notre cas, plusieurs méthodes ont été testées (IDW, Krigeage et Spline). L'écart entre les résultats s'est avéré peu important, le résultat issu de krigeage a été conservé.





Les 3 méthodes testées présentent des résultats qui diffèrent peu. Les résultats des méthodes IDW et Spline ne seront pas conservés car semblent présenter une interpolation moins juste que la méthode Krigage, de part l'apparition de tâches pour l'une et le calcul de valeurs négatives importantes pour l'autre.

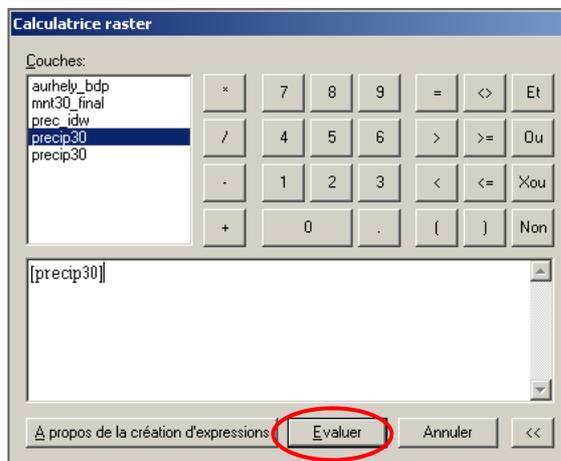
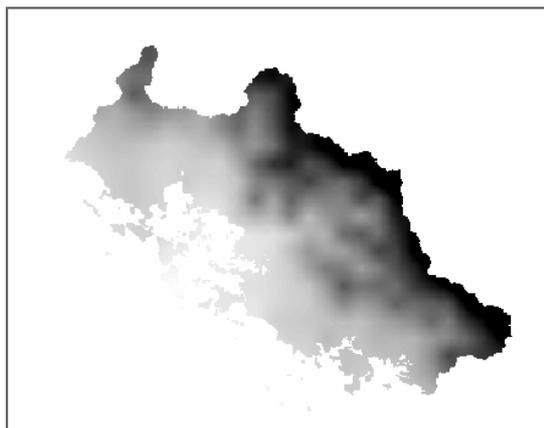
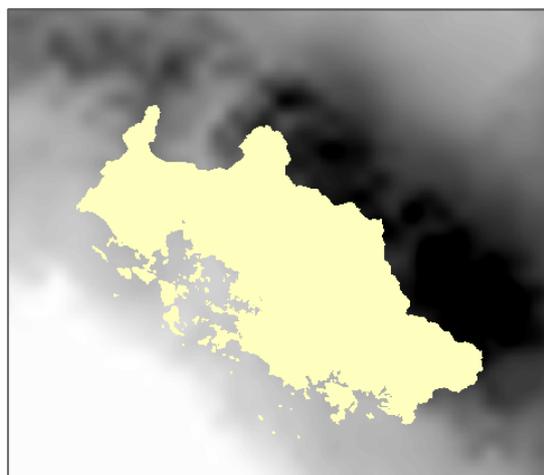
La faible précision des données Météo au départ est considérée ici comme un biais qui ne peut être corrigé par l'interpolation. L'objectif est donc ici de ne pas chercher de méthodes complexes d'interpolations mais de tester plusieurs méthodes simples afin de conserver le résultat le plus satisfaisant. L'amélioration de cette couche dans l'avenir pourra être envisagée par l'utilisation de données plus précises en amont.

III. Découpage du raster en fonction de la zone d'étude

Le découpage du raster est réalisé par application d'un masque défini à partir d'une entité correspondant à la zone à découper.

La définition du masque se réalise à partir du menu **Spatial Analyst / Option** : l'entité est choisie comme masque puis l'étendue géographique est définie comme l'intersection des entrées.

Le découpage est réalisé à partir de la **Calculatrice raster** qui crée une couche temporaire (cette couche sera rendue permanente par un clic droit/Rendre permanent).



ANNEXE X

EXTRAIT D'UN DES NOMBREUX ECHANGES ENTRE LA DTISI ET SPOT IMAGE (FORUM GEOREZO, 15/01/2002)

A la lecture de la note de Monsieur GASC, 4 points ont été éclaircis par Laurent COEURDEVEY de l'Atelier Spatio Cartes (ASP / Département Production) de SPOT Image durant les premières semaines de décembre 2001 :

- la date de production et les formats SPOT 2
- **les niveaux de traitements des images**
- images PXS (S4, 3 bandes 10m) ou PXI (S4, 4 bandes 10m)
- le nombre de GCP.

1. Date et format SPOT

Le format SPOT a été créé en 1985 et a connu deux évolutions mineures en 1995 et 1997, essentiellement pour la prise en compte de SPOT4. La version courante du format (S4-ST-73-01-SI Ed 1 Rev 2) est disponible à l'adresse <http://www.spotimage.fr/accueil/proser/welcome.htm>. Vous pouvez vous assurer de la version de vos produits en éditant le fichier LEADER (lead_xx.dat) position 17 à 31 du premier enregistrement. Vous trouverez soit SI-85.113 pour l'ancien format (dit « SISA ») soit S4-ST-73-1SI pour le format depuis 1995 (Spot scene ou « CAP ») avec deux numéros de révisions 1 et 2. Ces évolutions sont totalement compatibles ascendantes. Toutefois certains logiciels peuvent ne pas autoriser l'utilisation simultanée des 2 formats dans une même session de modélisation.

2. Images de niveaux différents

Je ne voudrais pas faire d'erreur de jugement mais je ne situe pas votre problématique lorsque vous dites utiliser des images 1B et 2A. A priori, toutes les images à modéliser doivent être des images non corrigées 1A ou 1B (en interne ERDAS transforme la géométrie 1B en 1A). **En aucun cas, une image 2A ne peut être orthorectifiée car il s'agit d'une image corrigée. La différence entre le 1B et le 2A est une reprojection cartographique à une altitude constante. L'orientation de l'image est donc perdue. Vous devez nécessairement partir de son niveau 1A ou 1B pour orthorectifier.**

Je vous déconseille d'utiliser l'image 2A pour prendre des points d'appui. Vous pourriez introduire des erreurs de plusieurs centaines de mètres.

3. Images PXS, PXI

Il n'y a pas de différences de formats pour ces images. Le support ERDAS m'a contacté plusieurs fois à ce propos, il y a peut-être une anomalie ERDAS. Un bon test serait de savoir si toutes les images PXS/PXI posent problème dans ERDAS ou seulement certaines d'entre elles. Dans le premier cas, le problème pourrait être au niveau d'ERDAS, dans le second cas, il conviendrait de nous retourner les scènes pour expertise par nos services.

4. Nombre de GCP

Le nombre de GCP (30 par image) me semble anormalement élevé. D'autant que je crois qu'Orthobase offre une modélisation physique du capteur SPOT. Toutefois vous désignez par « points de contrôles » les « GCP » alors qu'il s'agit de deux notions différentes :

- point d'appui = GCP (Ground Control Point), points issus d'une référence connue (carte, image corrigée, GPS...). Ils permettent d'affiner le calcul d'orientation externe de votre spatio-triangulation. La qualité de votre spatio-triangulation dépend uniquement de la qualité de ces points.
 - Points de contrôles = check points, ils ne sont pas utilisés pour le calcul de la spatio-triangulation mais indépendamment pour le contrôle de la qualité géométrique du résultat de la spatio-triangulation.
 - On doit également citer les Tie Points (points de liaison) dont le rôle est de transmettre la géométrie de la spatio-triangulation d'une image non corrigée à une autre image non corrigée.
- 5 à 6 points d'appui sont largement suffisants.

Spot Image est à même de vous renseigner sur les problèmes de traitements susceptibles d'être rencontrés par les utilisateurs... en attendant le format DIMAP avec SPOT5 !

A votre disposition pour d'autres informations,

Fabrice TRIFFAULT

Spot Image

5 rue des satellites

31030 TOULOUSE Cedex

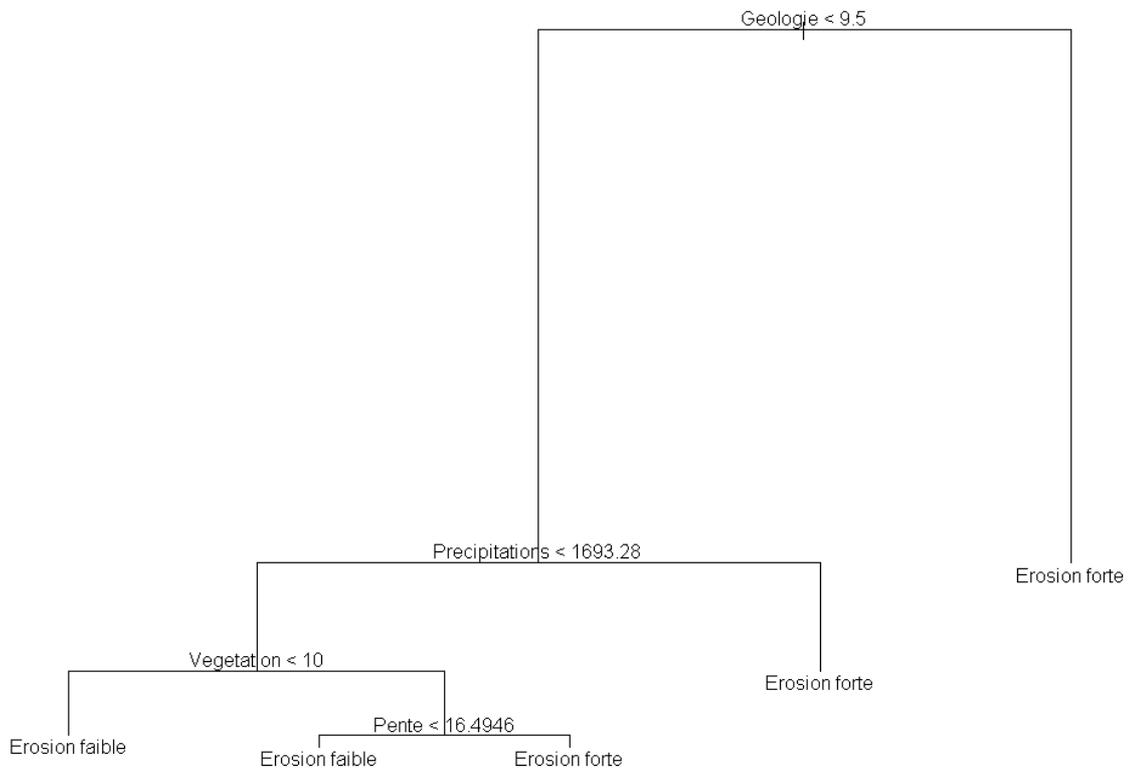
Tél. : 05.62.19.40.17

Fax. : 05.62.19.40.51

<http://www.spotimage.fr>

ANNEXE XI

ARBRE DECISIONNEL DETERMINE PAR LA METHODE STATISTIQUE



Aide à la lecture de l'arbre :

Pour pouvoir qualifier l'aléa Erosion de **fort** :

- la classe d'érodibilité des matériaux géologiques doit être > à 9.5,
- la classe d'érodibilité des matériaux géologiques peut être < à 9.5 mais les précipitations doivent être supérieures à 1693.28 mm,
- la classe d'érodibilité des matériaux géologiques peut être < à 9.5, les précipitations inférieures à 1693.28 mm, la végétation > à 10 et la pente > 16.4946%.

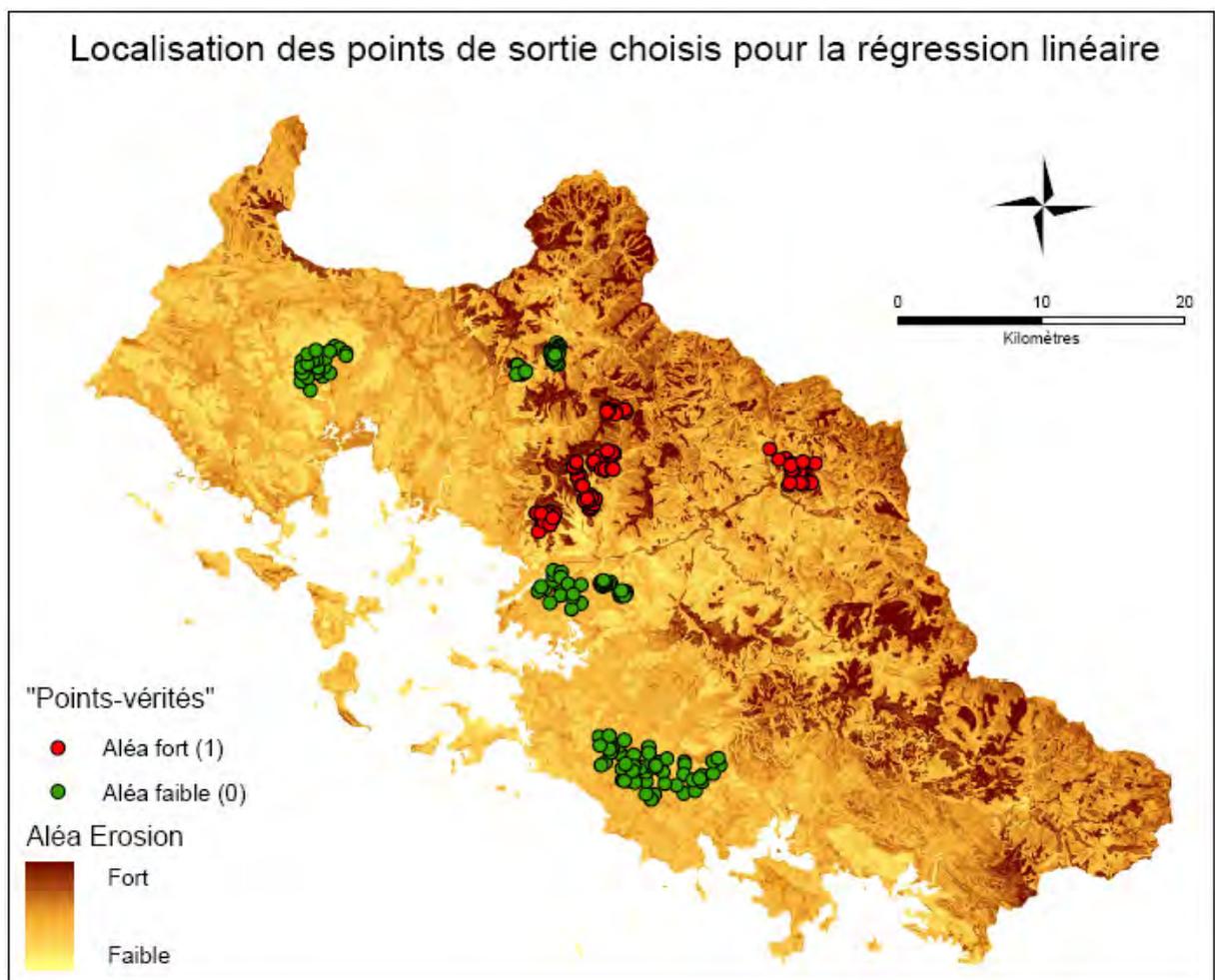
ANNEXE XII
METHODOLOGIE EMPLOYEE POUR LA REGRESSION LINEAIRE

Principe : l'utilisation d'une méthode statistique pour discriminer les zones érodées des zones non érodées consiste à déterminer les pondérations des couches du modèle par « régression linéaire ». C'est une méthode qui s'appuie sur un apprentissage d'une série de « points-vérités », dont on connaît le niveau d'aléa érosion (faible ou fort). Les coefficients de l'équation correspondant à la régression linéaire sont obtenus en minimisant une « fonction de coût » correspondant à la somme des erreurs quadratiques.

I. Sélection des « points-vérités »

Pour réaliser cette phase d'apprentissage, une série de points est nécessaire, points pour lesquels sont connus à la fois les valeurs des paramètres (pente, géologie, précipitations...) et le niveau d'érosion. Dans le modèle, les valeurs de paramètres seront des variables continues (pentes, précipitations...) ou non (géologie, occupation du sol...). Le niveau d'érosion est caractérisé par une variable discrète : 1 si l'aléa Erosion est important ou 0 sinon.

Dans notre cas, environ 400 points ont été sélectionnés dans la zone d'étude (à partir de données diverses : cartographie de zones érodées, photographies aériennes, relevés GPS, etc.) et sont présentés dans la figure suivante. Ces points ont été validés par les experts et seront considérés comme fiables.



II. Régression linéaire

Soit $(y_i, x_i^1, x_i^2, \dots, x_i^8)$, $i = \{1, 2, \dots, 400\}$ la base de données « apprentissage » avec

- y_i égal à 0 ou 1 suivant le niveau d'érosion observé du point numéro i
- x_{ji} la valeur du j ème paramètre au point numéro i (Pente, Géologie...)

La fonction de régression s'écrit alors :

$$\hat{y}_i = a_1 x_i^1 + a_2 x_i^2 + \dots + a_8 x_i^8 + a_9$$

Où les coefficients (a_1, a_2, \dots, a_9) représentent les pondérations recherchées

\hat{y}_i représente la sortie du modèle

Les valeurs des coefficients les plus adéquats sont obtenues, en suivant la méthodologie classique de la régression linéaire, c'est-à-dire en minimisant la « fonction de coût » suivante :

$$C = \sum_{i=1}^{400} (y_i - \hat{y}_i)^2 = \sum_{i=1}^{400} \left(y_i - (a_1 x_i^1 + \dots + a_8 x_i^8 + a_9) \right)^2$$

Avec C : fonction de coût correspondant à la somme des erreurs quadratiques

y_i : le niveau d'érosion observé (0 ou 1)

\hat{y}_i : valeur calculée par le modèle

L'optimisation de cette fonction de coût fournit la valeur des 9 paramètres correspondant aux coefficients des huit couches du modèle ainsi que la valeur de la constante (a_9).

La modélisation a été effectuée à partir du logiciel R. L'équation obtenue s'écrit sous la forme :

$$\begin{aligned} \text{ALEA EROSION} = & 0.0505044 \times \text{Géologie} + 0.0003183 \times \text{Précipitations} + 0.0312759 \times \text{Végétation} \\ & + 0.0053798 \times \text{Pentes} + 0.0756197 \times \text{Pistes} - 0.0118618 \times \text{Courbure horizontale} \\ & - 0.0650268 \times \text{Courbure de profil} + 0.0003285 \times \text{Surfaces drainées cumulées} - 0.6764857 \end{aligned}$$

L'un des critères pour évaluer la qualité de l'approximation obtenue par régression linéaire est le coefficient de corrélation calculé entre les valeurs \hat{y}_i obtenues par le modèle et les valeurs observées considérées comme fiables (y_i). Dans notre cas, celui-ci est égal à 0.9338. Il est très proche de 1, ce qui signifie que la corrélation est élevée et donc que la modélisation est pertinente.

CRISP



Composante 1

projet 1A4

Spatialisation de l'aléa érosion en Nouvelle-Calédonie

Résumé

L'érosion des sols est un problème majeur en Nouvelle-Calédonie du fait de facteurs naturels (géomorphologie, climat tropical) et anthropiques (feux de brousse et exploitation minière). Son impact sur la santé des lagons et des récifs coralliens en aval est encore mal cerné.

La spatialisation des zones sensibles à l'érosion en Nouvelle-Calédonie a déjà été réalisée en 2004 à partir du croisement de trois paramètres : le relief, la géologie des formations superficielles et le recouvrement de la végétation. L'objectif de la présente étude est de faire évoluer ce modèle afin d'affiner les résultats et de mieux évaluer les zones côtières vulnérables.

L'étude apporte plusieurs résultats. Elle a d'abord permis de mettre à jour le modèle en intégrant de nouvelles données disponibles. Grâce à l'analyse bibliographique et la rencontre avec divers experts, l'étude a ensuite conduit au choix de nouveaux indicateurs de l'érosion des sols, en particulier celui de la composante climatique. Enfin, les couches d'informations réalisées sous SIG ont été croisées par la méthode d'Evaluation Multicritère, affinant la spatialisation de l'Aléa Erosion.



Une série de tests et de calculs révèle la difficulté persistante à discriminer des objets en milieu tropical, malgré la disponibilité des images à résolution spatiale très fine, mais permet néanmoins de valider la méthode par expertise et de proposer de nouvelles pistes de travail pour une amélioration future du modèle vers un outil dynamique.

Ces avancées méthodologiques devraient permettre à terme de développer des modèles adaptés pour mieux saisir les interactions entre les bassins versants et les milieux lagunaires et récifaux des îles hautes de la région Pacifique .