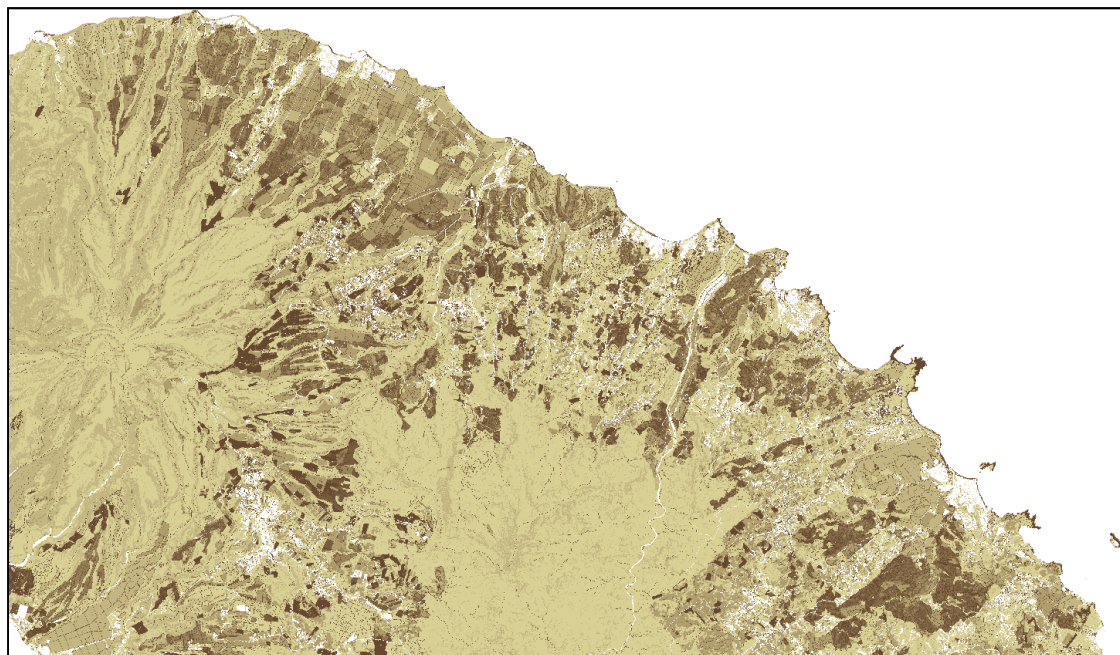


Cartographie de vulnérabilité des sols à l'érosion hydrique en Martinique

Rapport de synthèse



Convention : IRD / DEAL / ODE
Prestataire : Société IGED SASU
Rédacteur : A. CHEULA

Date : 07-05-2013

Sommaire

1. Contexte et objectifs	3
2. Zone d'étude	3
3. Données fournies	3
4. Logiciels	3
5. Méthodologie	4
6. Indicateurs de pression sur les masses d'eau	13
7. Analyse et recommandations.....	15
8. Conclusion	19
9. Annexe 1 : Bibliographie.....	20
10. Annexe 2 : Arborescence logique.....	21

1. Contexte et objectifs

Les processus d'érosion hydrique génèrent des conséquences importantes sur les plans économique, humain et écologique. Ils supposent d'une part la dégradation des sols, notamment des sols agricoles ou ceux des milieux naturels fragilisés. D'autre part, ils exercent des pressions sur les masses d'eau continentales ou marines. En Martinique, ces pressions se matérialisent par des transports de polluant, par des phénomènes de sédimentation et par la dégradation des milieux naturels aquatiques.

La cartographie de vulnérabilité des sols à l'érosion a pour vocation de s'intégrer à une étude générale portant sur les pressions exercées sur les masses d'eau de la Martinique. Comme l'indique la convention DEAL-ODE-IRD, ce travail de cartographie s'appuie sur la méthode proposée par K. Pinte dans une étude portant sur le bassin versant de la baie du Robert (K. Pinte, 2006). La méthodologie appliquée consiste à évaluer la sensibilité des sols à l'érosion linéaire et au ruissellement en nappe (les mouvements de terrain ne sont pas pris en compte) en utilisant plusieurs critères :

- l'occupation des sols,
- la topographie,
- l'érodibilité des sols,
- la pluviométrie selon la disponibilité de la donnée.

Un indice de vulnérabilité à l'érosion est ensuite défini en compilant l'ensemble de ces critères selon une arborescence logique. Le parti pris ici (K. Pinte, 2006) est de créer un indicateur final sans unité, contrairement aux indicateurs produits à partir de méthode quantitative. Toutefois, cette méthode, dite qualitative, à l'avantage de pouvoir tenir compte de toutes les particularités de la zone d'étude grâce aux règles de décision fixées dans l'arborescence logique.

2. Zone d'étude

La carte de vulnérabilité à l'érosion couvre l'ensemble du territoire de la Martinique. Des indicateurs de vulnérabilité seront affectés aux ensembles masse d'eau terrestre + ACER ainsi qu'aux masses d'eau marines associées.

3. Données fournies

- BD TOPO 2010
- RPG 2011
- BD ORTHO 2010 + canal Infra-rouge
- BD ORTHO 2004
- MNT Litto 3D
- Relevés pluviométriques journaliers de 1991 à 2010

4. Logiciels

Les logiciels utilisés sont libres :

- QGIS et GRASS pour les traitements SIG
- Orfeo Tool Box 3.14 – Monteverdi 1.12 pour le traitement d'image (logiciel CNES)

Certains traitements ont été effectués à partir du plateau technique de l'IRD (plateau CARIBSAT) en bénéficiant ainsi des logiciels propriétaires disponibles.

5. Méthodologie

5.1 Occupation des sols

5.1.1 Donnée utilisée

La carte d'occupation a été produite à partir des données suivantes :

- BD TOPO 2010
- RPG 2011
- BD ORTHO 2004 et 2010 + canal infra-rouge

5.1.2 Nomenclature

La carte d'occupation des sols a été réalisée sur la base de la nomenclature en 10 classes proposée dans l'étude de K. Pinte. Toutefois, compte-tenu de l'échelle d'étude, de la donnée utilisée et des délais d'exécution, il est apparu que certaines classes pouvaient être regroupées. Ainsi, le détail de la nomenclature a été arrangé de la manière suivante :

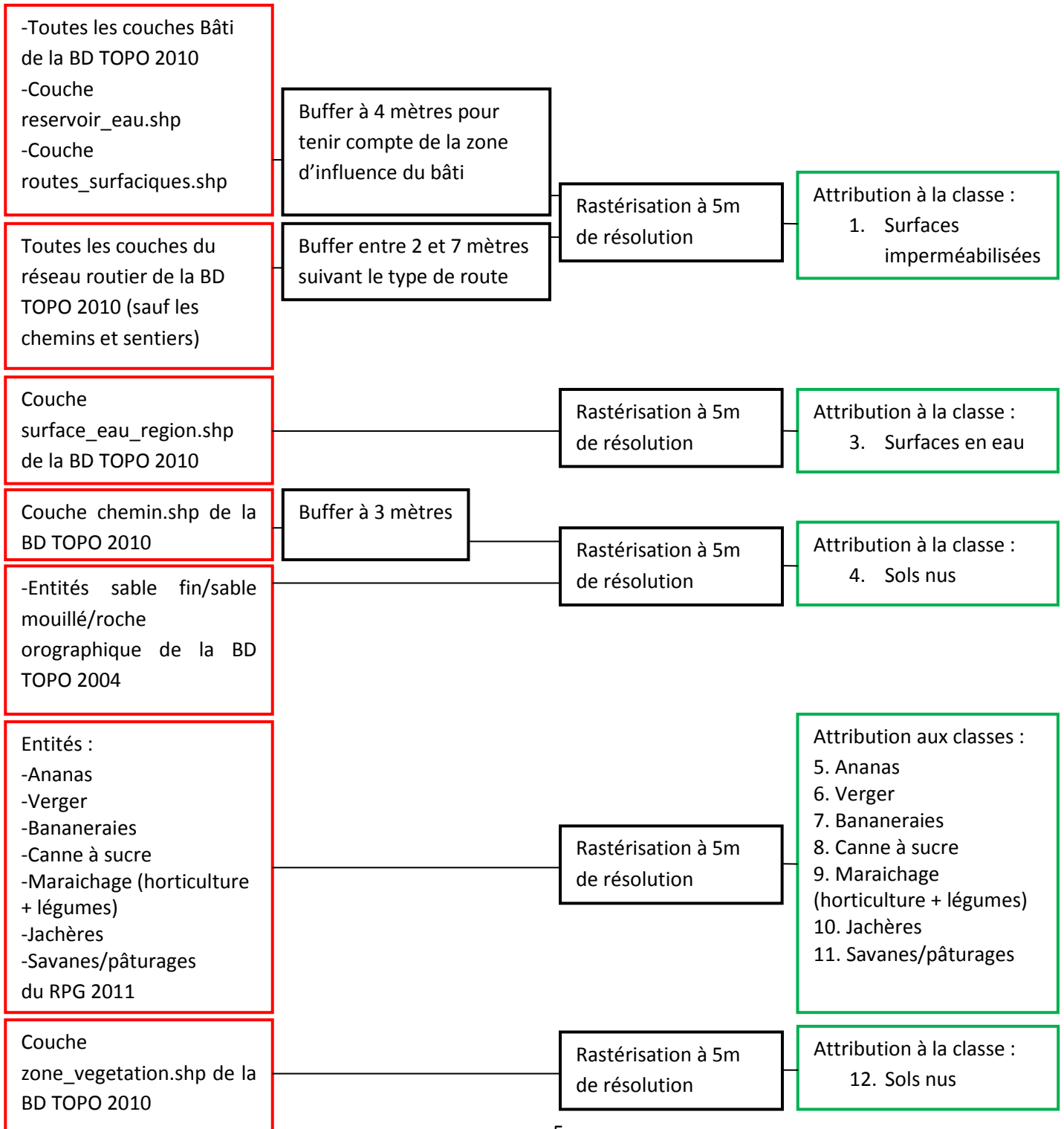
1. Surfaces urbaines : regroupent toutes les zones imperméabilisées sur lesquelles ne se produit que du ruissellement et pas d'érosion. Elles englobent donc les zones urbaines, les routes et aussi l'habitat diffus qui apparaît comme une classe à part pour K. Pinte. L'échelle de résolution permet, dans cette étude, de distinguer les surfaces construites des zones avoisinantes.
2. Végétation dense : regroupe les surfaces dont la couverture végétale arbustive à arborée est supérieure à 80 %. Elle englobe aussi les vergers.
3. Végétation herbacée : regroupe les surfaces couvertes de végétation basse : pâturages, pelouses, mais aussi friches et savanes qui étaient attribuées à la classe « végétation dense » dans la nomenclature de K. Pinte (sur les conseils de G. Lalubie, communication personnelle).
4. Canne à sucre : regroupe toutes les surfaces cultivées en canne, qu'elles soient récoltées ou pas. Il n'apparaît pas nécessaire de dégager plusieurs classes comme le prévoit la méthode de K. Pinte.
5. Bananaïes : regroupe les surfaces cultivées en banane sans différencier les cycles de plantations comme le propose K. Pinte. L'information n'apparaît pas dans le RPG et un travail de photo-interprétation sur l'ensemble de la Martinique serait trop long.
6. Maraîchage : toutes cultures maraichères et éventuellement les jardins créoles à proximité de l'habitat diffus.
7. Sol nu : Regroupe les zones de travaux, carrières et chemins non-goudronnés.

On aboutit donc à une occupation des sols décrite en 7 classes. Les 3 classes « perdues » par rapport à la méthode de K. Pinte correspondent à des regroupements, habitat diffus / surfaces urbaines, canne à sucre / canne à sucre post-récoltée, bananeraie < 2 / bananeraie > 2.

5.1.3 Etapes de production

La carte d'occupation des sols a été réalisée en plusieurs étapes.

- i. Traitement de la donnée vecteur (fichiers .shp) du RPG 2011 et BD TOPO 2010 selon le schéma suivant :



Les couches vecteurs ont été sélectionnées, associées et bufférisées si nécessaire, puis rastérisées pour obtenir une image classée à 5 mètres de résolution spatiale.

Note :

- *l'ensemble de ces données permettent de couvrir 85 % du territoire d'étude. Les 15 % restant sont attribués à la classe 2. No_data.*

- *Le résultat de ce premier traitement est stocké dans le fichier raster :
\\erosion-martinique-v.07-05-2013\occ-sol1.tif*

- ii. L'ensemble de territoire été revu afin de numériser manuellement les surfaces bâties manquantes. Par ailleurs, les erreurs ou omissions évidentes de la BD TOPO 2010 et du RPG 2011 ont également été rectifiées ou ajoutées manuellement.

Note :

- *Le résultat de cette deuxième étape est stocké dans le fichier raster :
\\erosion-martinique-v.07-05-2013\occ-sol2.tif*

- *Les polygones des nouvelles surfaces bâties numérisées manuellement sont stockés dans le fichier vecteur : \\erosion-martinique-v.07-05-2013\nouveau-bati.shp*

- iii. Des premières classifications automatiques successives (K-means) ont été effectuées sur la BD ORTHO 2010 et le canal infra-rouge lorsque la couverture est disponible (cf. figure ci-contre). Le canal infra-rouge donne une information importante permettant de différencier les types de végétations, ou encore d'identifier les surfaces très réfléchissantes. Ces premières classifications permettent de renseigner une partie des zones manquantes à la carte d'occupation des sols

Note : Le résultat de cette troisième étape est stocké dans le fichier raster :

\\erosion-martinique-v.07-05-2013\occ-sol3.tif

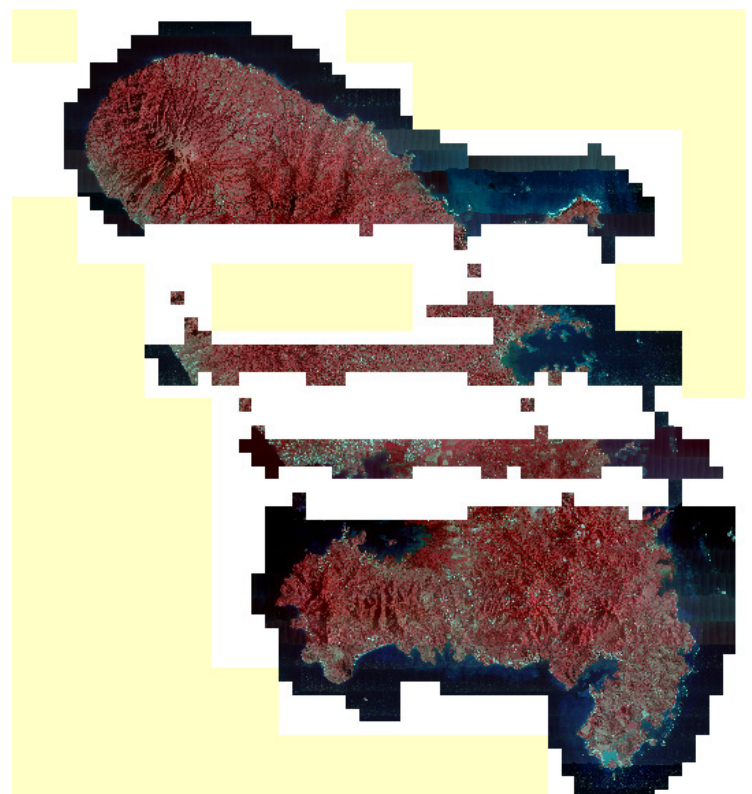


Figure 2 : Couverture BD ORTHO 2010 + IR

- iv. De nouvelles classifications automatiques successives (K-means) ont été effectuées sur la BD ORTHO 2010, sans canal infra-rouge lorsque celui-ci n'est pas disponible (cf. figure ci-contre). Ces classifications ont permis de renseigner la plupart des parties manquantes de la carte d'occupation des sols. Toutefois, certaines zones n'ont pas pu être classées (environ 1,2 % du territoire d'étude). Elles correspondent essentiellement aux zones d'ombre de la BD ORTHO 2010.

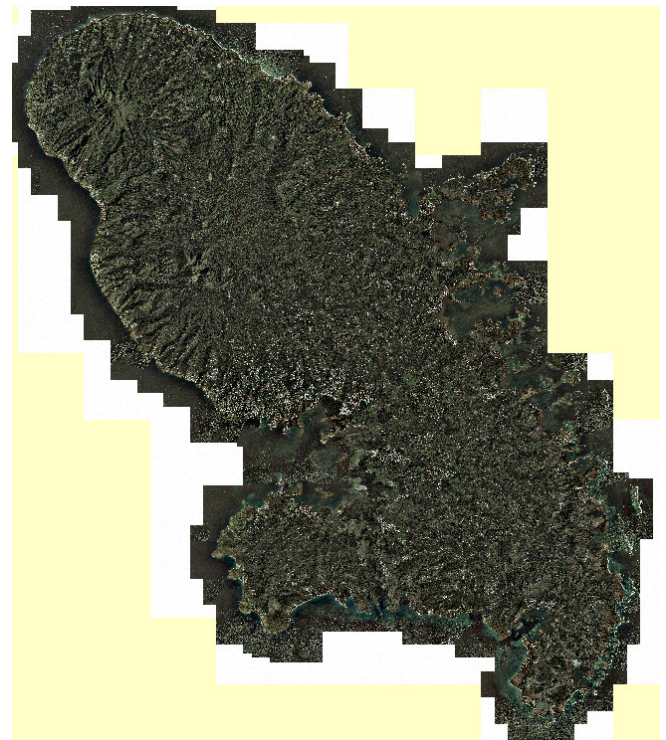


Note : Le résultat de cette quatrième étape est stocké dans le fichier raster :

`\\erosion-martinique-v.07-05-2013\occ-sol4.tif`

Figure 3 : Couverture BD ORTHO 2010 sans canal IR

- v. La couverture d'occupation du sol manquante a été réalisée avec les images de la BD ORTHO 2004 (cf. figure ci-contre). La carte d'occupation des sols. Le résultat final de la carte d'occupation des sols à 5 mètre de résolution spatiale apparaît dans la figure de la page suivante.



Note : Le résultat de cette cinquième étape est stocké dans le fichier raster :

`\\erosion-martinique-v.07-05-2013\occ-sol-final.tif`

Figure 4 : Couverture BD ORTHO 2004

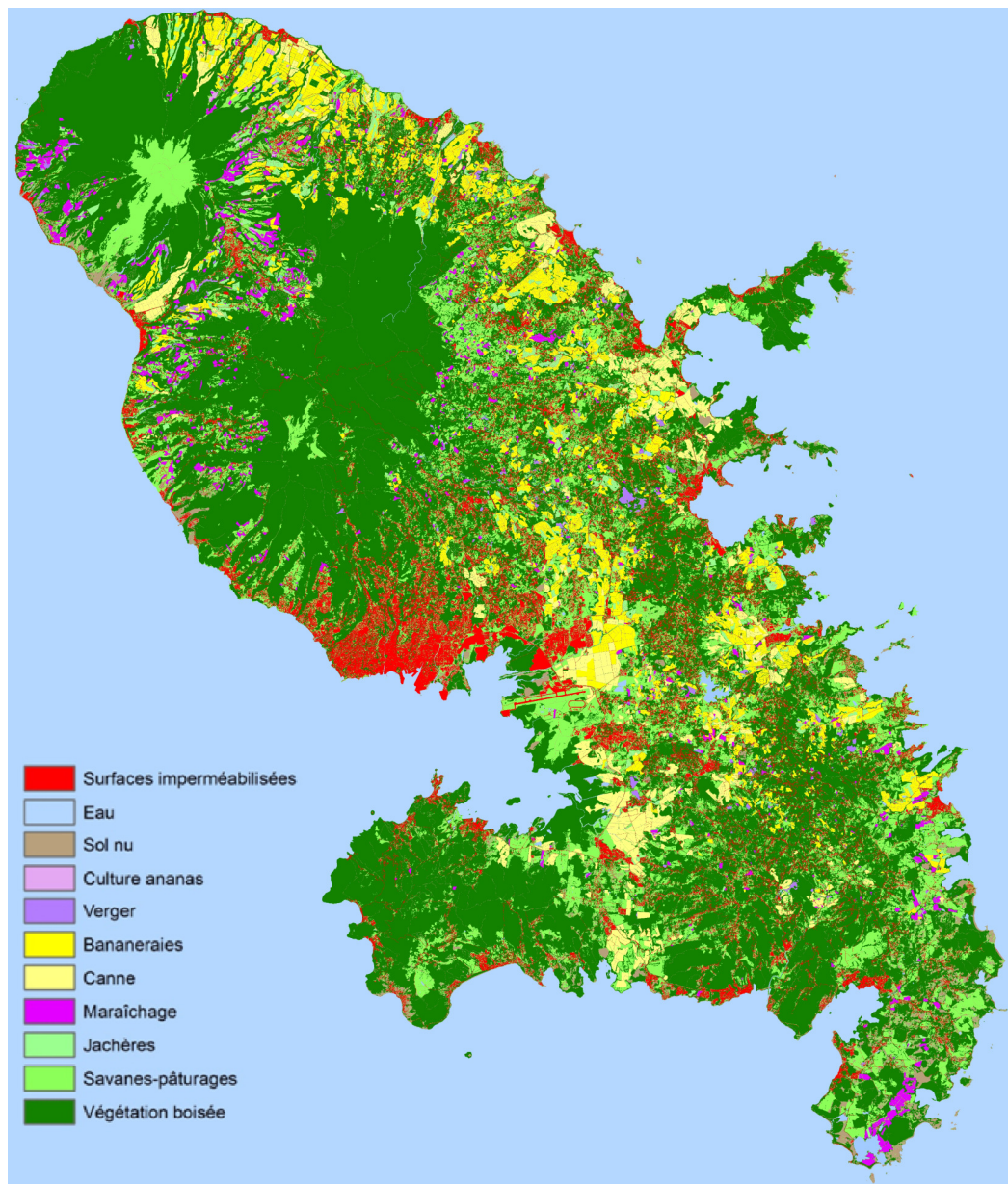


Tableau 1 : Aperçu de la carte d'occupation des sols de la Martinique, 2010

La carte d'occupation des sols produite contient donc 11 classes. Lors de la mise en œuvre de l'arborescence logique, certaines seront regroupées :

- Maraichage et ananas
- Verger et Végétation boisée
- Jachères et savanes

5.2 Topographie

Les critères topographiques utilisés par K. Pinte sont l'inclinaison de pente et la longueur de pente. La longueur de pente est calculée par l'algorithme D8 (Jenson & Domengue, 1988). Il existe d'autres méthodes : MD8 (Qinn, 1991) ou D^∞ (Taboton, 1997) qui permettent de s'affranchir de certaines erreurs dues aux effets de grille ou aux imperfections du MNT. Pour des raisons de délais d'exécution, c'est l'algorithme D8 qui a été retenu.

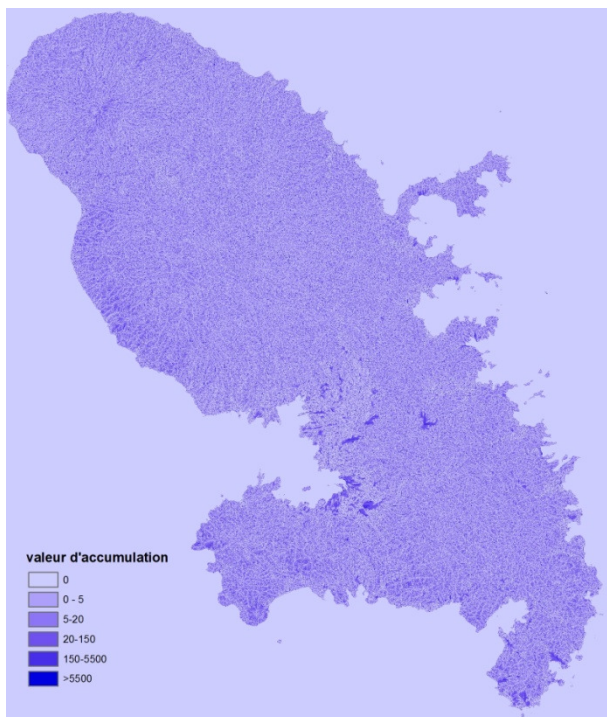


Figure 6 : Aperçu de la grille d'accumulation de flux

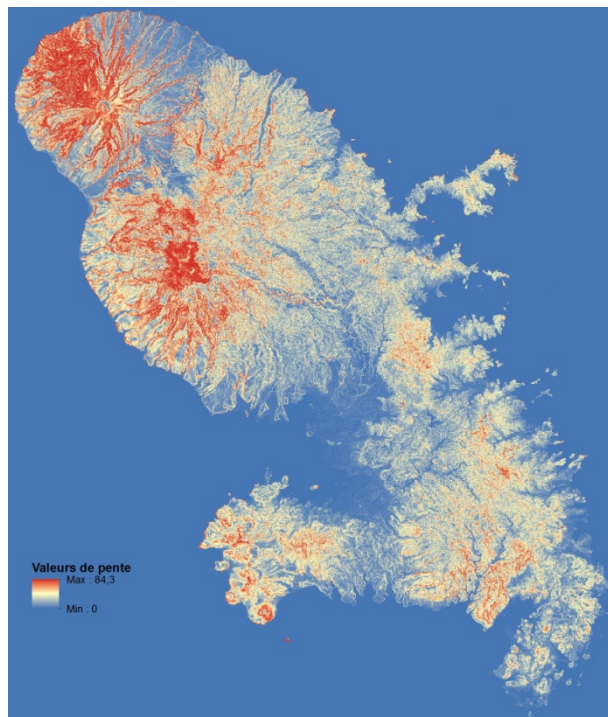


Figure 7 : Aperçu de la grille de pente

Les traitements effectués sur le MNT de la donnée Litto 3D dégradé à 5 mètres de résolution spatiales ont permis de dégager une grille de pente et une grille d'accumulation de flux (ou longueur de pente) sur l'ensemble du territoire d'étude. Les deux images suivantes donnent un aperçu des grilles obtenues.

Les valeurs d'accumulation de flux et de pente sont ensuite regroupées en classe de la même manière que dans l'étude de K. Pinte.

Note : Les grilles raster de pente et d'accumulation de flux à 5 mètres de résolution sont respectivement stockées dans les fichiers :

`\erosion-martinique-v.07-05-2013\slope.tif`

`\erosion-martinique-v.07-05-2013\flow_accumulation.tif`

5.3 Erodibilité des sols

L'indice d'érodibilité des sols a directement été tiré de la carte pédologique de la Martinique (Colmet-Daage, 1969). Dans l'étude de K. Pinte, le critère d'érodibilité est divisé en deux classes seulement. Le faible nombre de classe est une façon de diminuer l'importance d'un facteur. Dans le cas du bassin versant de la baie du Robert, cette faible importance s'explique par une relative homogénéité des sols. Dans le cas de l'ensemble de la Martinique, les variations sont plus importantes et nécessitent donc de donner plus de poids à ce facteur.

L'étude de C. Révillion, citée dans la note méthodologique du 25 janvier, propose d'utiliser la nomenclature simplifiée de la carte pédologique de Colmet-Daage, avec des indices d'érodibilité

pour chaque type de sol. Ces indices sont calculés en fonction des teneurs en limon et en sable présents dans les sols, selon l'équation suivante :

$$K = 1,333 \times 10^{-4} + 2,459 \times 10^{-5} \times M_n$$

avec : $M_n = Si(Si + Sa)$

où Si = % de limon et Sa = % de sable

La valeur des indices figure dans le tableau 1. Afin de rendre ces indices utilisables dans une arborescence logique, ils ont été regroupés trois classes, soit une classe de plus que ce que propose l'étude de K. Pinte. Cela permet d'ajuster l'importance de ce facteur sur l'ensemble de la Martinique, sans toutefois le surévaluer, compte-tenu de l'imprécision de la donnée pédologique par rapport aux autres jeux de donnée.

Indice d'érodibilité des sols de la Martinique		
Type de sol	Indice d'érodibilité	Classe d'érodibilité
Alluvions	0,039	2
Ferrisols	0,068	3
Sols bruns-rouille à halloysite	0,047	2
Sols rouges ou bruns montmorillonitiques	0,047	2
Sols peu évolués sur cendres	0,046	2
Sols vertiques	0,024	1
Sols à allophane	0,074	3
Pas de sol	0	1

Tableau 1 : Indices et classes d'érodibilité des sols de la Martinique

Remarques :

- La nomenclature présentée dans le tableau 1 comprend les grands types de sols présents sur le territoire d'étude, sans tenir compte des intergrades ou zones de transition qui rendraient plus complexe l'utilisation de ce facteur.
- D'après la carte de Colmet-Daage, il n'y a pas de phénomènes érosifs sur les pentes excessives et les zones urbanisées. La figure ci-contre montre que les pentes excessives couvrent une partie substantielle de la zone d'étude. De même, les zones urbaines couvrent des surfaces très approximatives par rapport à la carte d'occupation des sols produite dans le cadre de cette étude. Il a donc été décidé de ne pas donner à ces ensembles une classe d'érodibilité nulle qui serait

discriminante. Même si les pentes sont fortes, elles restent des surfaces potentielles d'érosions auxquelles, la classe la plus faible d'érodibilité a été

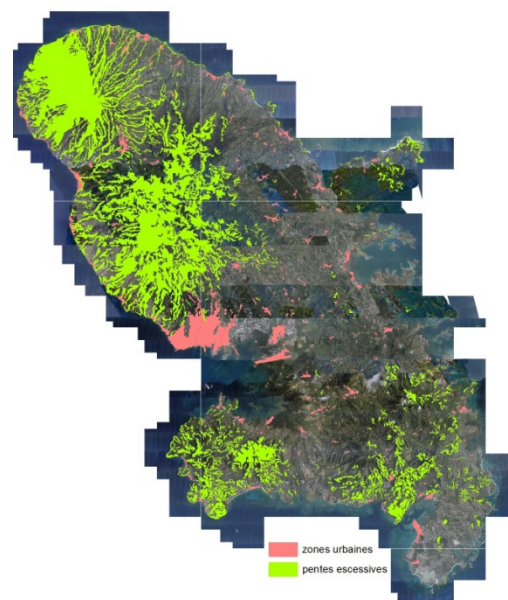


Figure 8 : Zones urbaines et pentes excessives de la carte Colmet-Daage (1969)

attribuée. Les zones urbanisées de Colmet-Daage qui ne correspondent pas à des zones urbanisées dans la carte d'occupation des sols 2010 auront également un indice d'érodibilité fixé au plus bas.

Les grilles d'indice d'érodibilité et de classe d'érodibilité à 5 mètres de résolution apparaissent respectivement sur les figures 9 et 10.

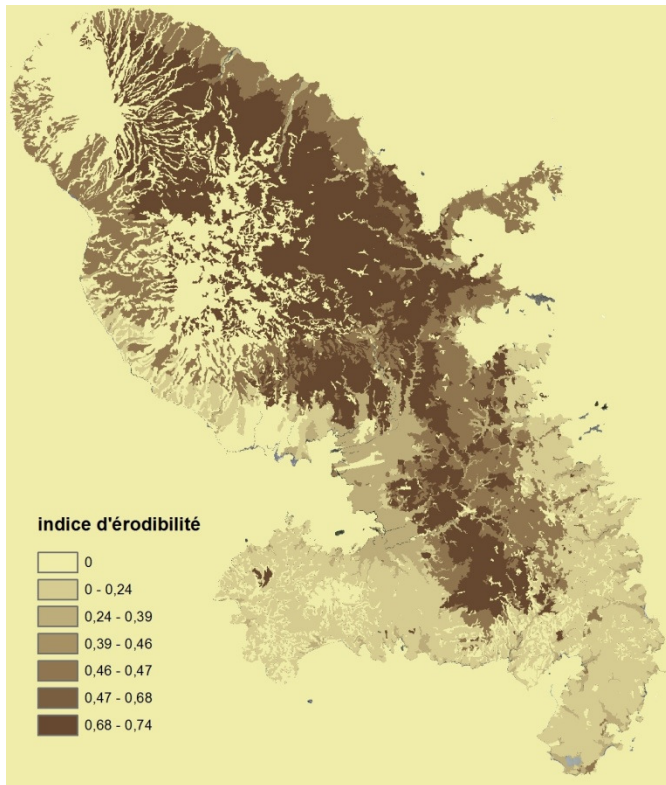


Figure 9 : Grille d'indice d'érodibilité des sols de la Martinique

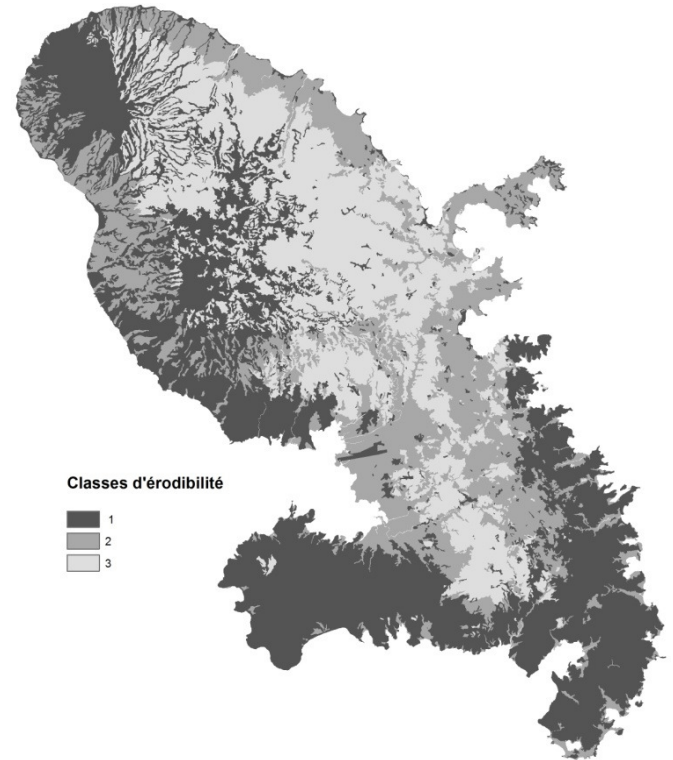


Figure 10 : Grille de classes d'érodibilité des sols de la Martinique

Note : La grille raster d'indice d'érodibilité à 5 mètres de résolution est stockée dans le fichier :
`\erosion-martinique-v.07-05-2013\indice_pedo.tif`

5.4 Pluviométrie

L'intégration du critère pluviométrique dans un modèle d'évaluation de la vulnérabilité à l'érosion est délicate et les avis sur sa pertinence sont variés :

- Selon Maurisot et Delaut (1995), cités par Bati (2007) : les pluies les plus intenses et les plus importantes sont liées aux passages des cyclones ou fortes dépressions tropicales qui, par leur emprise géographique et l'épaisseur de la convection sont peu ou pas sensible aux effets du relief (même montagneux). Ainsi, il considère que l'agressivité des pluies est homogène depuis la côte jusqu'aux zones de montagne. C'est aussi l'avis qu'a énoncé M. Morell lors de la réunion de lancement. D'après cette hypothèse, le facteur climatique ne doit pas être pris en compte.
- Selon Zahar et Laborde (2001) cité par Bati (2007) : les hauteurs de pluies annuelles, saisonnières, voire journalières ne peuvent expliquer à elles seules les phénomènes

d'érosion, parce qu'elles ont tendance à lisser les variabilités dans le temps de la pluviosité, et à masquer de ce fait les caractéristiques d'érosivité des averses. L'intensité des précipitations doit donc constituer un facteur de l'érosion plus important que leur hauteur.

- Très épisodiquement, on lit que sur plusieurs années, les hauteurs de précipitations sont corrélées avec les intensités des événements pluvieux.

On comprend donc que si la donnée pluviométrique est utilisée, c'est le caractère érosif des pluies qui doit être observé. L'érosivité (R) des pluies se calcule selon une équation formulée par Wischmeier (1959) nécessitant de disposer d'une donnée pluviométrique enregistrée au pas de temps horaire. La donnée pluviométrique disponible est enregistrée de 1991 à 2010, à un pas de temps journalier, sur 38 stations réparties sur l'ensemble du territoire d'étude. Cette donnée ne permettra donc pas d'obtenir des résultats exploitables dans notre étude. Dans ces conditions, il apparaît plus pertinent de ne pas tenir compte de la donnée pluviométrique.

5.5 Arborescence logique

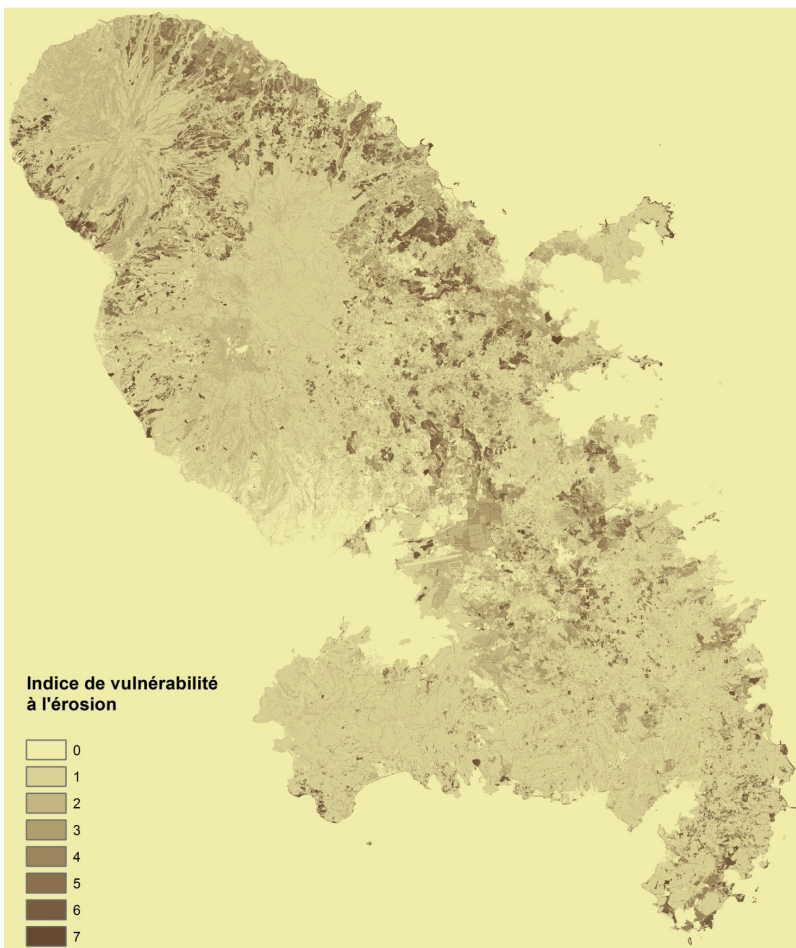
L'indice de vulnérabilité des sols à l'érosion a été défini en compilant les critères d'occupation des sols, de pentes, d'accumulation de flux et d'érodibilité des sols selon une arborescence logique. L'arbre de décision défini par K. Pinte a été repris, en ajoutant quelques règles qui étaient citées dans le texte de son étude mais qui n'apparaissaient pas dans le schéma.

Chaque critère a été utilisé suivant les mêmes classes que celles proposées dans l'étude de K.Pinte. Seule l'érodibilité des sols est caractérisée par 3 classes au lieu de 2 dans l'étude précédente. Le tableau 2 récapitule les classes choisies.

	Occupation des sols	Pentes	Longueurs de pentes	Erodibilité des sols
Classes	1. Surfaces imperméabilisées		0 – 5	1 2 3
	2. Eau	0% - 5%	5 – 150	
	3. Sols nus	5% - 20%	150 – 5500	
	4. Bananeraies	20% - 40 %	> 5500	
	5. Canne à sucre	> 40 %		
	6. Savane-pâturage			
	7. Végétation boisée			

Tableau 2 : Critères et classes utilisés dans l'arborescence logique

Les trois classes d'érodibilité des sols entraînent un élargissement de l'échelle finale d'indice de vulnérabilité à l'érosion. Ainsi, on obtient un indice échelonné de 0 à 7. L'indice 0 est attribué aux zones non-soumises à l'érosion (surfaces en eau et zones imperméabilisées). L'indice 7 est attribué aux zones les plus vulnérables à l'érosion. Le schéma de l'arborescence logique figure en annexe 2.



Note : La grille raster d'indices de vulnérabilité à l'érosion à 5 mètres de résolution est stockée dans le fichier : \erosion-martinique-v.07-05-2013\indice_erosion.tif

Figure 12 : Aperçu de la grille d'indice de vulnérabilité à l'érosion en Martinique à 5 m de résolution

6. Indicateurs de pression sur les masses d'eau

6.1 Description des indicateurs

La présente étude a pour vocation d'évaluer les pressions exercées par les processus érosifs sur les masses d'eau terrestres et marines. La principale pression visée est le phénomène de sédimentation marine qui entraîne la dégradation des milieux sous-marins sensibles. D'autres types de pression tels que le transport de polluant dans les cours d'eau puis en milieu marin sont mises en cause.

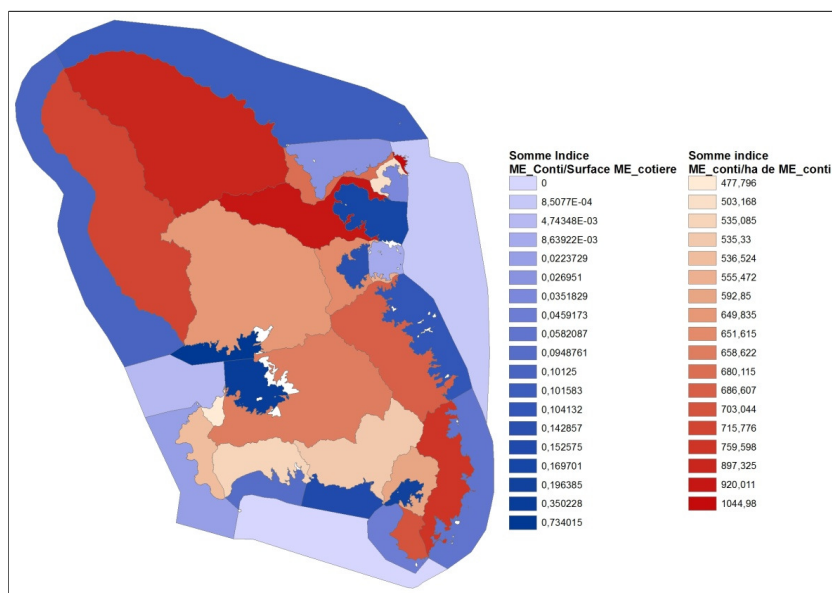


Figure 13 : Les indicateurs de pressions affectés aux masses d'eau terrestres et marines

Afin d'avoir un aperçu général de la pression de l'érosion exercée sur les masses d'eau, il a été convenu de dégager pour chacune d'entre elle un indicateur. Notons que chaque masse d'eau marine est associée à un ensemble masse d'eau terrestre + ACER drainant.

Ainsi, une moyenne d'indice de vulnérabilité à l'érosion a été calculée pour chacune des masses d'eau terrestre. Ici, la moyenne revient à rapporter une pression globale à une surface vu que chaque pixel représente une surface. La figure 13 montre, pour chaque masse d'eau terrestre + ACER, une moyenne d'indice de vulnérabilité à l'érosion rapportée à l'hectare.

La pression érosive exercée sur les masses d'eau marines est caractérisée par la somme des indices de vulnérabilité à l'érosion de la masse d'eau terrestre drainante, rapportée à la surface de la masse d'eau marine. Les équations des indices s'écrivent de la manière suivante :

$$\begin{aligned}
 \text{IMT} &= (\text{SI} / \text{AMT}) * 10\,000 \\
 \text{IMM} &= (\text{SI} / \text{AMM})
 \end{aligned}
 \quad \text{où} \quad
 \begin{aligned}
 \text{IMT} &= \text{Indice masse d'eau terrestre} \\
 \text{IMM} &= \text{Indice masse d'eau marine} \\
 \text{SI} &= \text{Somme d'indice de vulnérabilité de la masse d'eau terrestre} \\
 \text{AMT} &= \text{aire de la masse d'eau terrestre} \\
 \text{AMM} &= \text{Aire de la masse d'eau marine}
 \end{aligned}$$

6.2 Commentaires

Sur l'ensemble de la Martinique, les indices montrent que 80 % du territoire n'est pas ou faiblement exposé à l'érosion hydrique (indice 0, 1 et 2). Environ 10 % du territoire est moyennement exposé (indice 3 et 4), et 10 % est fortement exposé à l'érosion hydrique.

Indice	0	1	2	3	4	5	6	7
Couverture %	10	54.50	15.62	8.38	1.89	2.25	1.79	5.57

Tableau 3 : Taux de couverture de chacun des indices de vulnérabilité à l'érosion

Rapporté aux masses d'eau continentales, c'est la masse d'eau de la pointe de la Caravelle, relative à la masse d'eau marine 'récif barrière Atlantique' qui est la plus exposée, avec un indice rapporté à l'hectare largement au dessus des autres masses d'eau continentales. Cet écart est lié à la forte présence de sol nu et à la taille très réduite de cette masse, ce qui augmente fortement la moyenne. Dans ce cas, l'indice est difficilement comparable aux autres.

Les autres masses d'eau continentales fortement soumises aux pressions érosives sont celles relatives à la baie Galion et au nord-Atlantique. La masse d'eau baie du Galion est fortement concernée car une part relativement importante du territoire est occupée par des bananeraies ou des espaces maraichers très vulnérables à l'érosion hydrique. Par ailleurs, la faible couverture forestière ne permet pas de diminuer cette moyenne. Les pressions sont également fortes sur la masse d'eau Nord-Atlantique, pour les mêmes raisons, malgré une couverture forestière beaucoup plus importantes.

Les masses d'eau les moins affectées sont celles où les couvertures agricoles sont les plus réduites.

Le tableau 4 récapitule les indices de pression de l'érosion sur les masses d'eau terrestres et les masses d'eau marines associées.

MEC_RECEPT	SI	IMT	IMM
Baie de Genipa	8487300	658.62	0.350228
Nord-Caraïbe	12787600	715.78	0.10125
Anses d'Arlet	1106500	536.52	0.0223729
Nord-Atlantique, plateau insulaire	19440500	897.33	0.101583
Fond Ouest de la Baie du Robert	1418630	651.62	0.142857
Littoral du Vauclin à Sainte-Anne	3517670	759.60	0.0582087
Est de la Baie du Robert	100579	555.47	0.00863922
Littoral du François au Vauclin	5092320	686.61	0.104132
Baie de Sainte-Anne	872860	703.04	0.0459173
Baie du Marin	1247870	592.85	0.196385
Récif barrière Atlantique	126137	1044.98	0.00085077
Baie de La Trinité	968512	680.12	0.026951
Baie du Trésor	257592	503.17	0.0351829
Baie du Galion	5257650	920.01	0.169701
Nord Baie de Fort-de-France	11910200	649.84	0.734015
Ouest de la Baie de Fort-de-France	225838	477.80	0.00474348
Baie de Sainte-Luce	3556030	535.33	0.152575
Baie du Diamant	1871980	535.09	0.0948761
Eaux côtières du sud du rocher du diamant	-	-	0

Tableau 4 : Les indices de pressions érosives sur les masses d'eau terrestres et marines de la Martinique

Remarque :

Les eaux côtières du sud du rocher du diamant n'ont pas été affectées d'un indice car elles ne sont pas directement en relation avec une masse d'eau terrestre.

7. Analyse et recommandations

7.1 Rappel des effets de l'érosion hydrique en Martinique

Comme le définit K. Pinte dans son étude de 2006, « l'érosion des sols est un phénomène naturel qui, à différentes échelles spatiales et temporelles, dégrade, modifie et façonne les milieux terrestres. ». L'érosion hydrique, sous certains aspects, est nécessaire notamment en matière de régulation de l'épaisseur des sols. Toutefois lorsqu'elle est accélérée, les conséquences néfastes sont nombreuses :

- D'un point de vue agronomique, elle entraîne des pertes excessives en terre et en éléments nutritifs des sols. Elle entraîne également, des pertes d'engrais et de matière organique, la destruction de la structure des sols et la réduction de leur profondeur.

- D'un point de vue écologique et environnemental, l'augmentation du ruissellement a de nombreuses conséquences indirectes. Les matières en suspension chargent les cours d'eau. L'entraînement des particules de sols dans les eaux superficielles s'accompagne également de celui des intrants agricoles (engrais, pesticides) et des polluants d'origine industrielle, urbaine et routière. Ces apports peuvent inclure des éléments azotés et phosphatés et même des métaux lourds peuvent

être également transportés. La qualité de l'eau est détériorée par eutrophisation à cause du réchauffement de la température de l'eau et l'intensification du développement d'algues et de bactéries causant le vieillissement prématuré des eaux des exutoires et, par le fait même, une perte de la biodiversité. La situation insulaire de la Martinique expose aussi considérablement les milieux marins, toujours proches.

7.2 Erosion hydrique et occupation des sols

Le protocole de calcul de l'indice de vulnérabilité à l'érosion et l'observation des résultats affectés aux masses d'eau montrent que l'occupation du sol constitue un facteur essentiel pour déterminer la vulnérabilité des sols à l'érosion hydrique. En effet, l'occupation des sols est le point de départ dans la modélisation, qui permettra d'évaluer quel sera l'intensité des autres facteurs responsables des processus d'érosion.

Par ailleurs, l'occupation des sols revêt une importance d'autant plus notable qu'il s'agit du facteur le plus dynamique dans l'évaluation de la vulnérabilité à l'érosion. Là où la topographie ou la pédologie varient peu dans le temps, l'occupation des sols est susceptible de varier considérablement.

L'observation et la maîtrise de l'occupation des sols constituent un enjeu important pour contrôler les pressions exercées par l'érosion sur les masses d'eau terrestres et marines.

7.2 Effets des changements d'occupation des sols

Le système d'attribution d'indice de vulnérabilité à l'érosion montre clairement que certaines utilisations des sols sont particulièrement sensibles à l'accélération des processus d'érosion. Les cultures bananières et maraichères sont tout particulièrement visées dans la mesure où il apparaît qu'elles accélèrent considérablement les phénomènes de ruissellement. Au contraire une couverture végétale dense et importante limite fortement les processus d'érosion.

En Martinique, les formations forestières sont de mieux en mieux protégées. Elles doivent en effet faire l'objet d'une attention particulière car il apparaît qu'en cas de changement d'occupation du sol, l'exposition des masses d'eau à l'érosion s'en trouverait considérablement accrue. Des simulations de changements d'occupation des sols permettent de le montrer.

L'indice de vulnérabilité des sols à l'érosion a été recalculé sur l'ensemble de la Martinique selon deux simulations :

- la première remplace toute la végétation forestière sur des pentes inférieures à 25 % par de la végétation herbeuse (simu-1)
- la seconde remplace toute la végétation forestière sur des pentes inférieures à 25 % par des bananeraies (simu-2)

La part de territoire couverte par chaque valeur d'indice, suivant le calcul normal, et suivant les deux simulations, apparaissent dans le tableau 5. On note que les zones faiblement exposées se réduisent fortement, au profit des zones moyennement ou fortement exposées. Les répartitions changent substantiellement en cas de forte extension des bananeraies.

	%-indice	% simu-1	%simu-2
0	10.01	10.01	10.01
1	54.49	35.64	21.63
2	15.62	22.77	15.52
3	8.38	18.68	16.38
4	1.89	3.29	11.34
5	2.25	2.25	11.21
6	1.79	1.79	6.22
7	5.57	5.57	7.69

Tableau 5 : Taux de répartition des indices de vulnérabilité réel et simulé

Ces écarts de pressions se retrouvent dans les indicateurs affectés aux masses d'eau terrestre et de fait aux masses d'eau continentales auxquelles elles sont associées (tableau 6).

MEC_RECEPT	IMT	IMT Simu1	IMT-Simu2
Baie de Genipa	658.62	807,43	1159,61
Nord-Caraïbe	715.78	784,60	1023,22
Anses d'Arlet	536.52	574,81	1105,08
Nord-Atlantique, plateau insulaire	897.33	1061,38	1345,48
Fond Ouest de la Baie du Robert	651.62	798,83	1125,32
Littoral du Vauclin à Sainte-Anne	759.60	782,54	1166,83
Est de la Baie du Robert	555.47	606,08	1116,48
Littoral du François au Vauclin	686.61	754,02	1101,67
Baie de Sainte-Anne	703.04	720,60	1059,97
Baie du Marin	592.85	611,00	1004,02
Récif barrière Atlantique	1044.98	1166,99	1572,27
Baie de La Trinité	680.12	874,74	1230,21
Baie du Trésor	503.17	783,52	1565,71
Baie du Galion	920.01	1129,79	1448,42
Nord Baie de Fort-de-France	649.84	836,01	1156,98
Ouest de la Baie de Fort-de-France	477.80	514,38	1145,42
Baie de Sainte-Luce	535.33	647,13	1102,57
Baie du Diamant	535.09	553,73	1076,69
Eaux côtières du sud du rocher du diamant	-	-	-

Tableau 6 : indicateurs des pressions érosives réelles et simulées sur les masses d'eau terrestre

En cas d'extension de la bananeraie, les indicateurs rapportés aux masses d'eau peuvent être multipliés parfois par 2 ou 3. Ce constat pose la question des zones qui seraient les plus exposées à l'érosion hydrique en cas de changement d'occupation ou d'utilisation du sol.

7.3 Les zones exposées au changement d'occupation des sols

L'occupation des sols est le point d'entrée qui permet d'évaluer dans quelle mesure les facteurs topographiques et pédologique auront de l'importance dans les processus d'érosion. Les zones boisées, la végétation arbustive à herbacées, les champs de canne à sucre et les jachères sont les surfaces les moins vulnérables à l'érosion. Au contraire, les bananeraies et les périmètres maraichers sont très exposés.

Une nouvelle carte a été conçue pour cibler les zones qui deviendraient très vulnérables à l'érosion en cas de changement d'occupation des sols. La figure 14 localise les zones les moins vulnérables à l'érosion hydrique (indice 1 ou 2) qui deviendraient très vulnérables à l'érosion (indice 5, 6, ou 7) en cas de changement d'occupation des sols. La figure 14 distingue les zones qui deviendraient très vulnérables à l'érosion si le sol était occupé par des bananeraies, ou par du maraîchage.

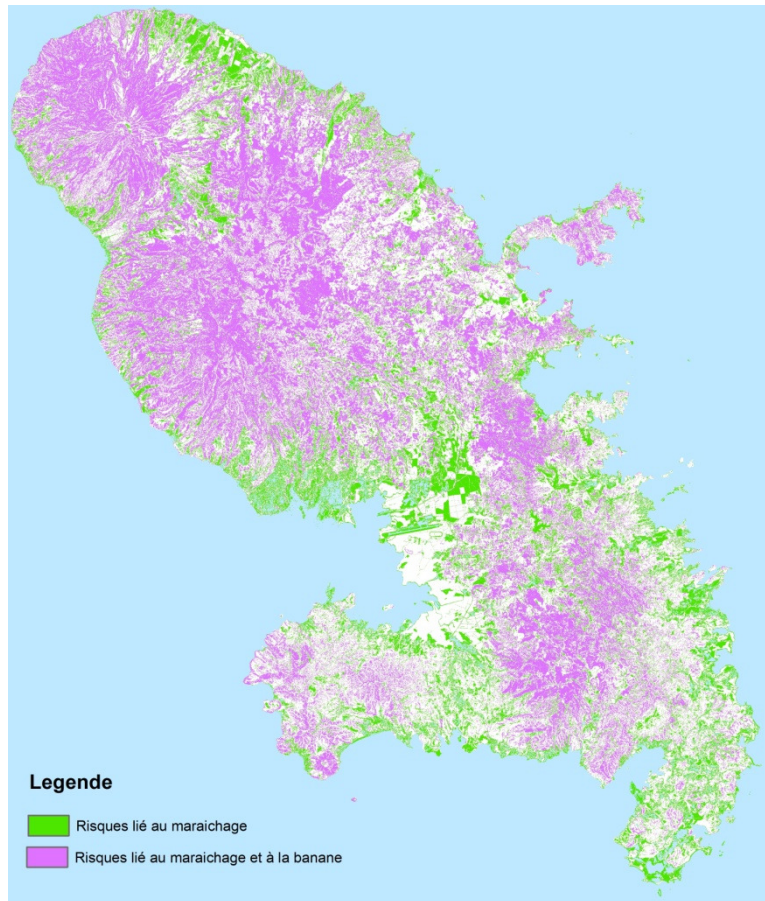


Figure 14 : Zones très exposées à l'érosion en cas de changement d'occupation des sols

On voit qu'une très grande partie du territoire martiniquais s'expose à une forte érosion en cas de pratiques maraichères ou de culture de banane.

Note : Les grilles raster d'indice d'érodibilité à 5 mètres de résolution selon la simulation 1 et 2 sont stockées dans les fichiers :

`\erosion-martinique-v.07-05-2013\eros-simu1.tif`

`\erosion-martinique-v.07-05-2013\eros-simu1.tif`

La grille raster de risque de vulnérabilité en cas de changement d'occupation des sols et la légende sont stockées dans les fichiers :

`\erosion-martinique-v.07-05-2013\risk-banane-maraichage.tif`

`\erosion-martinique-v.07-05-2013\legende-risk-banane-maraichage.txt`

7.4 Recommandations

Les dynamiques de vulnérabilité sont essentiellement liées à l'évolution de l'occupation des sols et donc aux activités d'origine anthropiques. Par ailleurs, c'est uniquement dans ce cadre qu'il est envisageable d'intervenir pour contenir les phénomènes d'érosions.

Il convient donc de maîtriser l'évolution des formations forestières de la Martinique qui limitent fortement les phénomènes érosifs. Il convient également de sensibiliser les exploitants agricoles et les propriétaires fonciers sur la vulnérabilité ou la vulnérabilité potentielle de leurs parcelles afin de limiter les phénomènes érosifs lorsque cela nécessaire et possible. Dans cette perspective, la donnée produite devrait être mise à la disposition de la DAAF pour que celle-ci puisse cibler les exploitants à sensibiliser.

8. Conclusion

La carte de vulnérabilité des sols à l'érosion a été réalisée à 5 mètres de résolution spatiale sur l'ensemble de la Martinique. La méthode utilisée dans l'étude de K. Pinte sur la baie du Robert a été reproduite avec quelques modifications compte tenu de l'élargissement de la zone d'étude et de la donnée utilisée. La donnée récemment acquise, à très haute résolution spatiale, a permis d'améliorer la précision de cette cartographie. Par ailleurs, une carte d'occupation des sols actualisée à 5 mètres de résolution spatiale a été produite sur tout le territoire insulaire.

La méthode suivie est qualitative. L'arborescence logique utilisée a l'avantage de qualifier la vulnérabilité à l'érosion en tenant compte de manière précise des spécificités du terrain d'étude et de la donnée utilisée. Toutefois l'indice obtenu n'a pas d'unité et les valeurs d'indice ne permettent pas de mesurer les pertes en sols ou les phénomènes de sédimentation de manière quantitative.

Quelques perspectives à cette étude peuvent être envisagées :

- Utilisation d'un modèle quantitatif de vulnérabilité à l'érosion (RUSLE, USLE...) pour mesurer les pertes en sol potentielles.
- Précision des effets de l'imperméabilisation des sols sur les processus érosifs, notamment au niveau des exutoires de surfaces imperméabilisées.

9. Annexe 1 : Bibliographie

Bati, A., Depraetere, C., 2007. *Panorama des méthodes de modélisation de l'érosion dans un contexte insulaire, Analyse méthodologique*, Projet CRISP, Document IRD, 28 p.

Colmet-Daage, F., 1969. *Légende-Carte des sols des Antilles à 1/20 000-Guadeloupe-Martinique (partie volcanique)*, ORSTOM, Centre des Antilles, bureau des sols.

Jenson, S.K. & J.O. Domingue. 1988. Extracting topographic structure from digital elevation data for geographical information system analysis, *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing.*, vol.54, pp. 1593-1600.

Luneau G., 2006, *La spatialisation de l'aléa EROSION DES SOLS en Nouvelle-Calédonie. Méthodologie définie sur les communes de Dumbéa, Païta, et Boulouparis*, Rapport de stage, Master 2 professionnel géométrique, Université de Toulouse, 75p.

Maurizot P., Delfau M., 1995. *Cartographie de la sensibilité à l'érosion, Province Sud de Nouvelle-Calédonie*, Rapport BRGM N° R38660, 72 planches.

Quinn, P.F., Beven, K.J., Chevallier, P. & O. Planchon. 1991. The prediction of hillslope flow paths for distributed hydrological modeling using digital terrain models. *Hydrological Processes*, n°5, pp. 59-80.

Pinte, K., 2006, *Diagnostic de l'érosion sur le bassin versant de la baie du Robert en Martinique*, Mémoire de diplôme d'ingénieur agronome, INA-PG, CEMAGREF, 184 p.

Revillion, C. 2012. *Spatialisation de l'érosion hydrique des sols en Martinique Utilisation de l'équation universelle révisée de perte de sol*, CARIBSAT, Rapport d'activité, 12 p.

Tarboton, D.G. 1997. A new method for the determination of flow direction and upslope areas in grid digital elevation models. *Water Resources Research*. 33(2): 309-319.

Wishmeier W.H. (1959). A rainfall erosion index for universal soil-loss equation, *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 23(3) : 246-249.

Wischmeier, W.H., et D.D. Smith. 1978. *Predicting Rainfall Erosion Losses ; A guide to conservation planning*. US Department of Agriculture Science and Education Administration; Washington-DC, USA, 163p.

Zahar Y., Laborde J-P. 1998. Génération stochastique d'averses et de leurs index d'érosivité pour la simulation de la dynamique érosive en Tunisie centrale. *Hydrological Sciences-Journal-des Sciences Hydrologiques*, 46(2) avril.

10. Annexe 2 : Arborescence logique

