REGION REUNION
VALORISONS NOS ATOUTS

DÉPARTEMENT DE LA Réunion

DOCUMENT PUBLIC
RP-51236-FR

Cartographie de l'aléa "érosion des sols" à La Réunion

Phase 1 : caractérisation et cartographie (1/100 000 à 1/50 000) des phénomènes érosifs

Étude réalisée dans le cadre du projet de Service public du BRGM 01-RIS-320

P. Chevalier, A. Hébert, T. Kaufmant, J.-F. Moyen

septembre 2001
BRGM/RP-51236-FR
2001 SGR/REU 27

BRGM

APR

25 FEV. 2002

Mots clés : érosion, géomorphologie, Île de La Réunion, cartographie

En bibliographie, ce rapport sera cité de la façon suivante :

P. Chevalier, A. Hébert, T. Kaufmant, J.-F. Moyen (2001) - Cartographie de l'aléa "érosion des sols" à La Réunion - Phase 1 : caractérisation et cartographie (1/100 000 à 1/50 000) des phénomènes érosifs. Rapport BRGM RP-51236-FR - 2001 SGR/REU 27, 80 p, 51 figs., 6 tab., 1 annexe.

© BRGM, 2001, ce document ne peut être reproduit en totalité ou en partie sans l'autorisation expresse du BRGM.

Synthèse

Le sol est une ressource naturelle non renouvelable à l'échelle de temps historique, soumis à dégradation par l'érosion. L'Île de La Réunion présente une morphologie jeune, marquée par de fortes pentes, et se situe dans une région climatique à très fortes précipitations, notamment en période cyclonique. De ce fait, ses sols sont affectés par des phénomènes d'érosion très actifs, correspondant à des départs de matière de l'ordre du millimètre par an en moyenne sur l'ensemble de l'Île. Ce chiffre moyen implique bien sûr des érosions considérablement plus intenses dans des secteurs particulièrement exposés ou lors d'années très pluvieuses ou encore lors du passage d'un météore très actif. Cette érosion a des conséquences agronomiques, économiques et sociales lourdes : de façon directe, destruction de terres agricoles ; de façon indirecte, endommagement de bâtiments ou d'aménagements...

Afin de pouvoir définir, en connaissance de cause, les actions conservatoires et préventives à conduire, un travail de synthèse, préliminaire, est à faire pour évaluer et cartographier les différents types d'aléa érosion, à l'échelle de l'Île. L'intérêt de ce travail a été reconnu par les membres du "Groupe de travail Érosion", constitué dans le cadre de la Charte de l'Environnement de la Réunion.

A cet égard, l'objectif de l'étude proposée par le Service géologique régional du BRGM, dans le cadre de ses actions de Service public, est de réaliser sur une période de 2 ans, une cartographie exhaustive des différents types érosifs et de l'aléa érosion des sols sur l'ensemble du territoire de l'Île.

Le financement de l'année 1 de ce projet a été apporté par le Conseil Régional (convention Conseil Régional / BRGM n° DEAT3 / 20000644), le Conseil Général (convention Conseil Général / BRGM du 12 septembre 2000) et la dotation de Service Public du BRGM.

Ce rapport concrétise la première phase du projet (fiche 01-RIS-320), il concerne la cartographie des phénomènes érosifs constatés, d'après des observations de terrain ou des synthèses bibliographiques. Ce travail a été réalisé par une équipe pluridisciplinaire du BRGM (Bureau de Recherches Géologiques et Minières) et de l'APR (Association pour la Promotion en milieu Rural), dans le cadre de sa mission de lutte contre l'érosion (animation de l'ACLES : Action Concertée de Lutte contre l'Érosion des Sols).

On a distingué l'érosion naturelle de l'érosion liée au travail du sol et, en particulier, à sa mise à nu par des pratiques culturales. L'érosion naturelle se manifeste dans le paysage par des morphologies particulières et a donc été cartographiée par une étude géomorphologique ; celle-ci a été effectuée sur la base de l'interprétation des photographies aériennes, ainsi qu'à l'aide de l'analyse du modèle numérique de terrain. L'érosion agricole, en revanche, ne laisse pas ou peu de traces géomorphologiques ; elle a pu être évaluée grâce à une bonne connaissance du terrain et des pratiques culturales, permettant d'identifier les régions où les pratiques agricoles entraînent des phénomènes érosifs notables.

36 types géomorphologiques ont été reconnus sur photos aériennes, permettant de découper l'Île en plus de 1300 régions homogènes au point de vue de l'érosion. Ces types morphologiques ont été regroupés en 14 grandes familles, et à chaque région a été attribuée une valeur d'intensité des phénomènes érosifs. Chaque type fait l'objet d'une description détaillée, quant aux processus qui s'y déroulent, aux facteurs les contrôlant, et à l'évolution prévisible de l'érosion dans les zones concernées. Par ailleurs, l'analyse morphologique du modèle numérique de terrain a permis de mettre en évidence des zones de fort creusement fluviatile, associées à des ravines trop petites pour être cartographiables à l'aide des photos aériennes. Il a ainsi été possible d'établir une carte de l'intensité des phénomènes érosifs naturels.

En ce qui concerne l'érosion agricole, on s'est basé sur la couche occupation des sols de la BD Topo® de l'IGN. Sur la base de la connaissance du terrain, cette information a été légèrement modifiée, soit pour préciser des informations, soit pour renseigner des lacunes de cette couverture. A chaque type de culture de l'occupation du sol corrigée, correspond un impact sur l'érosion, faible ou fort, ce qui a permis d'établir une carte d'intensité des phénomènes érosifs anthropiques.

Le croisement de ces deux cartes donne une carte de synthèse (rendue au 1/75 000, mais les données restent précises jusqu'au 1/50 000) rendant compte de l'intensité globale des phénomènes érosifs dans l'Île. Dans les régions où les deux couvertures (érosion naturelle et agricole) se recouvrent, on a fait dominer, selon les processus mis en cause, les érosions agricoles fortes dans les lieux d'érosion naturelle faible et réciproquement ; en situation intermédiaire, on a procédé à une analyse au cas par cas.

La carte résultante permet d'avoir une vue synthétique de la nature et de l'intensité des phénomènes érosifs à La Réunion. Elle montre que la majeure partie de l'Île est soumise à des phénomènes d'intensité moyenne.

Cette étude, complétée par des données météorologiques, géographiques, pédologiques et géologiques, permettra de déterminer les facteurs influençant les phénomènes érosifs, en tenant compte des basins versants, et de cartographier l'aléa érosif sur le territoire réunionnais, dans le cadre de la deuxième année de l'opération.

Sommaire

1. Objet de l'étude 8
2. Méthodologie adoptée 11
2.1. Types d'érosion naturelle : approche géomorphologique 13
2.1.1. Intensité du phénomène érosif naturel 13
2.1.2. Typologie de l'érosion naturelle 15
2.2. Erosion anthropique : approche par cartographie automatique 21
2.3. Synthèse cartograhique des deux approches 26
3. Typologie des phénomènes érosifs 29
3.1. Types de morphologies caractéristiques de phénomènes d'érosion naturelle 29
3.1.1. Zones d'érosion active 30
3.1.2. Remparts, érosions montagnardes 37
3.1.3. Pentes et vallées 42
3.1.4. Ravinements parallèles, pseudo bad-lands. 47
3.1.5. Planèzes, larges surfaces planes régulières 50
3.1.6. Ilets 51
3.1.7. Érosions côtières 53
3.1.8. Érosions spécifiques au volcanisme récent ou actif 55
3.1.9. Terrasses et alluvions, zones d'accumulations détritiques 58
3.2. Érosion anthropique non agricole 62
3.2.1. Description morphologique 62
3.2.2. Phénomènes et processus opérants 62
3.2.3. Répartition et contrôle 66
3.2.4. Évolution prévisible 66
3.3. Érosion agricole et liée à l'occupation du sol 67
3.3.1. Rappels historiques 67
3.3.2. Principales manifestations 67
3.3.3. Facteurs, phénomènes et processus opérants 70
3.3.4. Répartition géographique 73
3.3.5. Moyens de lutte contre l'érosion 76
3.3.6. Évolution prévisible 77
4. Conclusions 78
5. Bibliographie 79

Liste des annexes

Annexe (hors texte) : Carte à 1/75 000 des différents types d'érosion à La Réunion

Liste des illustrations

FIGURES

Fig. 1 : Points d'observations de phénomènes érosifs sur le terrain 12
Fig. 2 : Cartographie des unités géomorphologiques : intensité des phénomènes érosifs 14
Fig. 3 : Cartographie des unités géomorphologiques : typologie des phénomènes érosifs 17
Fig. 4 : Cartographie semi-automatique des zones de ravines étroites 18
Fig. 5 : Cartographie de l'érosion naturelle par niveau d'intensité 19
Fig. 6 : Nature et intensité des phénomènes érosifs : exemple dans le Cirque de Cilaos 20
Fig. 7 : Couche occupation du sol surfacique issue de la BD Topo® 22
Fig. 8 : Occupation du sol surfacique corrigée et requalifiée par rapport à l'érosion 23
Fig. 9 : Requalification des "trous" de la couche occupation du sol surfacique 25
Fig. 10 : Synthèse cartographique des érosions géomorphologiques et liées à l'occupation du sol 27
Fig. 11 : Synthèse cartographique des érosions géomorphologiques et liées à l'occupation du sol, avec une échelle d'intensité unique 28
Fig. 12 : Localisation des bloc-diagrammes des morphologies érosives 29
Fig. 13 : Exemple de zone d'érosion active dans le Cirque de Salazie 30
Fig. 14 : Front d'érosion active régressive : exemple de Roche à Jacquot, Grand Ilet ... 31
Fig. 15 : Zones érosives particulièrement actives dans le sud-ouest du Cirque de Mafate, chronologies relatives de morphologies érosives 32
Fig. 16 : Ravine des Aigrettes : exemple d'érosion active par ravinement intense 33
Fig. 17 : Répartition des zones d'érosion actives 34
Fig. 18 : Dispositifs concertés de lutte contre l'érosion : gabions et fascines sur les pentes du plateau de Grand-Ilet 36
Fig. 19 : Répartition des morphologies d'érosion de remparts et de zones de montagne 37
Fig. 20 : Morphologie de "rempart strié" : exemple en rive droite de la rivière des Remparts, en face du Bras Dimitile 37
Fig. 21 : Morphologie de "rempart strié" dans le Cirque de Salazie 38
Fig. 22 : Arrachement dans une falaise, village de Salazie 39
Fig. 23 : Morphologie de vallée : exemple de la rivière des Marsouins 42
Fig. 24 : Haut de la rivière Saint-Denis : érosion de vallée et de rempart, zone active .. 43
Fig. 25 : Exemple d'érosion de berge 44
Fig. 26 : Transport turbide de particules terrigènes fines dans un cours d'eau 44
Fig. 27 : Répartition des morphologies d'érosion de pentes et de vallées 45

Fig. 28 : Érosion de vallée conditionnée par la lithologie, La Chapelle, Cirque de Cilaos 45
Fig. 29 : Exemple de modelé typique de pseudo bad-lands : massif du Cratère, en rive droite de la rivière des Marsouins 47
Fig. 30 : Répartition des morphologies d'érosion de ravinements et pseudo bad-lands . 48
Fig. 31 : Morphologie de pseudo bad-lands : exemple de la plaine d'Affouches, sud de Saint-Denis 49
Fig. 32 : Morphologie de planèze : exemple des planèzes de l'ouest au dessus de Saint-Paul 50
Fig. 33 : Répartition des morphologies de planèzes 50
Fig. 34 : Morphologie d'ilet banquette : exemple de Roche Plate (Cirque de Mafate) .. 52
Fig. 35 : Bras des Étangs : bordure d'ilet soumise à une érosion active, associée à des glissements de terrain 52
Fig. 36 : Exemples de cônes de scories dans la plaine des Cafres 55
Fig. 37 : Répartition des zones d'accumulations détritiques : alluvions et colluvions 58
Fig. 38 : Exemple de cône alluvial avec réseau en tresses, rivière de l'Est 59
Fig. 39 : Exemple de terrasses alluviales : la rivière du Mât près de Saint-André 59
Fig. 40 : Alluvions actuelles dans la rivière des Pluies 60
Fig. 41 : Érosion en bord de chemin, zone du Colorado, massif de la Montagne 62
Fig. 42 : Concentration des eaux de ruissellement par un chemin, aboutissant à un important ravinement 63
Fig. 43 : Différents stades du ravinement d'un revêtement routier, exemple vers Decottes, Sainte-Suzanne 64
Fig. 44 : Ravinement après débordement du Bras de Pontho, suite à la déviation des eaux par un fossé routier 65
Fig. 45 : Évolution d'un talus de route: érosion par dessiccation et effritement des argiles de latérites, et constitution d'un glacis, exemple sur la route de La Montagne..... 66
Fig. 46 : Exemple d'érosion en nappe 68
Fig. 47 : Cailloux "poussant" : manifestation visible de l'érosion en nappe, Le Guillaume 68
Fig. 48 : Ravinement après travail du sol dans le sens de la pente, Piton Hyacinthe, Plaine des Cafres 69
Fig. 49 : Exemple de ravinement important, affectant un andosol, Plaine des Cafres ... 70
Fig. 50 : Décapage généralisé du sol suite au travail au rotavator, Piton Hyacinthe..... 74
Fig. 51 : Cultures et andains de pierre parallèles aux courbes de niveaux (OLAT de Simambry) 76

TABLEAUX

Tableau 1 : Échelle d'intensité de l'érosion naturelle 13
Tableau 2 : Différents types de zones d'érosion naturelle 15
Tableau 3 : Regroupement des types d'érosions naturelles en grandes familles 16
Tableau 4 : Relations entre occupation du sol et niveau d'érosion anthropique 21
Tableau 5 : Niveaux d'impact sur l'érosion en fonction des types de cultures 24
Tableau 6 : Matrice de choix de prédominance entre types érosifs 26

1. Objet de l'étude

À l'échelle des temps géologiques, l'érosion à l'air libre, processus géologique destructif, est un phénomène quasiment instantané ; sa vitesse est sans commune mesure avec les processus géologiques constructifs, à l'exception des éruptions volcaniques. C'est elle qui est responsable, par ablation des particules superficielles du sol, lui-même issu *pro parte* de l'altération des roches sous l'effet des facteurs climatiques, de la plupart des paysages émergés que nous avons sous les yeux aujourd'hui. À l'échelle des temps humains, elle est perceptible, alors que les autres processus géologiques passent souvent inaperçus. Ce lent décapage, se faisant sur des centaines de milliers, voire des millions d'années, finit par façonner, puis aplanir les reliefs montagneux.

Les relations entre l'Homme et l'érosion sont complexes : les conséquences de l'érosion sont très importantes, et n'ont pas que des effets négatifs. Ainsi, une bonne partie du charme de La Réunion tient aux morphologies spectaculaires de ses cirques, pur produit d'un intense travail de l'érosion naturelle. À l'inverse, certaines zones habitées se trouvent enclavées par des zones d'érosion, et nombre d'agriculteurs perdent régulièrement de leur terre cultivable. Enfin, dans bien des cas, l'action de l'Homme, en modifiant quelque peu un équilibre naturel par déforestation ou changement de la nature du couvert végétal, des écoulements ou du modelé du terrain, favorise ou provoque l'érosion.

Non renouvelable à l'échelle de temps historique, le sol est une ressource naturelle soumise à dégradation par l'érosion. L'érosion provoque des dégâts aux terres agricoles mais a aussi des conséquences au-delà du sol lui-même, entraînant une détérioration de la qualité des eaux et le déplacement de sédiments ; elle peut être également à l'origine de catastrophes naturelles générées par des coulées de boue.

Le contexte géographique et géologique de La Réunion - île au volcanisme actif, au fort relief, en climat tropical humide - est très particulier, et donne une ampleur considérable à l'érosion.

En effet, l'île est le siège de processus géologiques vivants ; elle constitue un exemple rare de construction et destruction très rapide de matière, observable au cours d'une vie humaine. Les trois phénomènes en compétition sont le volcanisme d'un côté, les processus d'altération et d'érosion de l'autre.

À titre de comparaison, l'île Maurice se trouve dans un contexte similaire, la seule différence est que ses dernières phases de construction (activité volcanique) remontent à 3 millions d'années, et elle est très érodée. Pour ce qui est de l'Île Rodrigues, dont le volcanisme remonte à 10 millions d'années, son érosion est presque achevée et son relief est maintenant aplani. A partir de cet exemple, on a estimé des taux d'érosion de l'ordre de 3 000 m en 10 Ma, soit 300 m par million d'années, soit encore 3 cm par siècle. Ceci est une moyenne sur toute la surface insulaire, ce qui signifie qu'il se trouve des endroits où l'érosion est bien plus rapide.

Une autre approche pour appréhender l'ordre de grandeur du phénomène érosif est l'étude des charges solides transportées par les ravines en crue. D'après des estimations

communément admises (Robin *et al*, 1988), on aboutit, à La Réunion, à des taux d'érosion de l'ordre de 3 000 tonnes par an et par kilomètre carré. Ramené aux mêmes unités, on aboutit à un taux de l'ordre de 3 à 9 cm par siècle, en fonction de la densité du sol, ce qui est du même ordre de grandeur que l'estimation précédente, faite à partir de l'exemple de Rodrigues.

Une troisième approche se fait par observations directes, en suivant l'évolution du terrain à l'aide de repères fixes. On aboutit ainsi à des taux d'érosion allant jusqu'au mètre par siècle, dans des cas d'exploitations agricoles mécanisées (plaine des Cafres). On a là un changement d'ordre de grandeur : ceci représente un extremum de taux d'érosion, alors que les autres approches permettent d'estimer une moyenne.

Apprécier où s'arrêtent les processus érosifs et où commencent les mouvements de terrain est délicat, les deux types de phénomènes étant en continuité l'un de l'autre.

Tous les phénomènes érosifs sont fortement influencés par les précipitations ; ils se trouvent, en particulier, accélérés et exagérés durant les périodes de fortes pluies ou épisodes cycloniques : le rôle du facteur climatologique est donc primordial.

On peut citer quelques exemples de cas d'érosion particulièrement spectaculaires à La Réunion : le Bras de Mahavel qui recule à vue d'œil ou presque, les effondrements en masse (Mahavel en 1965, Grand Sable en 1875), les lits des rivières qu'on ne reconnaît plus après le passage d'un cyclone (lit de la rivière du Bras Rouge à Cilaos, au niveau de la Chapelle : creusé de 20 m par les effets du passage de Hyacinthe en 1980 !), les rigoles de 1 à 2 m creusées en une nuit sur les ilets.

L'île de La Réunion est donc soumise, par des causes naturelles et anthropiques, à une érosion importante et irréversible de ses sols. Dans une politique environnementale et agricole durable, l'intensification de la lutte contre l'érosion doit donc être une priorité. L'expression de cette priorité a été ainsi traduite par l'inscription par l'ensemble des partenaires locaux (Collectivités, acteurs scientifiques, Services de l'État,...) d'une fiche action IV 2 A c : "Mise en place d'un Schéma Directeur de Lutte contre l'Érosion", au sein de la Charte Réunionnaise de l'Environnement.

Afin de pouvoir définir, en connaissance de cause, les actions conservatoires et préventives à conduire, un travail de synthèse, préliminaire, est à faire pour évaluer et cartographier les différents types d'aléa érosion, à l'échelle de l'île. L'intérêt de ce travail a été reconnu par les membres du " Groupe de travail Érosion " nouvellement créé (réunion CLOE du 2/07/1999).

A cet égard, l'objectif de l'étude proposée par le Service géologique régional du BRGM, dans le cadre de ses actions de Service public, est de réaliser sur une période de 2 ans, une cartographie exhaustive des différents types érosifs et de l'aléa érosion des sols sur l'ensemble du territoire de l'Île.

La première année, objet du présent rapport, concerne la cartographie des phénomènes constatés d'après des observations de terrain et une synthèse bibliographique.

Le financement de l'année 1 de ce projet (fiche 01-RIS-320) a été apporté par le Conseil Régional (convention Conseil Régional / BRGM n° DEAT3 / 20000644), le Conseil Général (convention Conseil Général / BRGM du 1er septembre 2000) et la dotation de Service Public du BRGM.

L'étude présentée ici consiste en une cartographie exhaustive des érosions du territoire réunionnais ; elle a été réalisée par une équipe pluridisciplinaire du BRGM et de l'APR (Association pour la Promotion en milieu Rural) qui est intervenue dans le cadre de sa mission d'animation de l'ACLES (Action Concertée de Lutte contre l'Érosion des Sols).

La cartographie concerne l'ensemble de l'île, et a été réalisée à différentes échelles (1/100 000 à 1/50 000, selon le degré nécessaire de précision à obtenir sur une unité d'érosion élémentaire), afin d'identifier les terrains les plus exposés aux problèmes de l'érosion des sols..

Pour la restitution des données cartographiques, on a choisi de reporter sur un support unique au 1/75 000 (on notera toutefois que la précision des données cartographique peut permettre des rendus au 1/50 000), fourni en annexe, le zonage des phénomènes érosifs d'origine naturelle ou anthropique. Le présent rapport constitue un guide pour la lecture de cette carte. On y décrit le zonage, sans réellement s'attacher à une analyse fine des phénomènes, qu'on se contente de rappeler.

2. Méthodologie adoptée

Afin d'identifier et de cartographier les processus d'érosion à La Réunion, les phases d'étude suivantes ont été réalisées.

Dans un premier temps, une tournée de terrain (Fig. 1) a permis de définir les différents types de phénomènes érosifs exprimés à La Réunion, et leur importance.

On a procédé à la révision des typologies classiques d'érosion, avec une hiérarchisation des phénomènes érosifs, en distinguant les érosions "naturelles", liées à des processus à long terme et impliquant de grandes dimensions, de celles d'origine anthropique.

L'identification de ces deux types d'érosion requiert des approches différentes. Les méthodologies classiquement utilisées en géologie s'appliquent bien aux phénomènes érosifs "naturels". Pour les érosions d'origine anthropique, pour l'essentiel d'origine agricole, une approche par les données d'occupation du sol est plus appropriée.

On a donc procédé en parallèle aux deux approches, l'une basée sur l'interprétation géomorphologique et l'autre basée sur des données géographiques concernant le mode d'occupation du sol.

La synthèse des résultats acquis par ces deux approches a permis d'obtenir la couverture cartographique de l'île à 1/75 000 présentée en annexe hors texte.

Types de phénomènes érosifs observés

- érosions d'origine agricole
- érosions liées aux aménagements
- érosions naturelles

Erosion superficielle, continue, régulière,
dans roche tectonisée peu cohérente.
Plan de faille cannelé décamétrique dominant
la route, Nm75/70/S/pi45/W.
Aménagements par gabions souples.

Plateau du Bois de Pomme,
problème de gestion des eaux pluviales.
Lotissements => imperméabilisation des sols,
augmentation du ruissellement,
maison inondée, formation d'une
ravine de 2m de profondeur.

Ecaille décollée du rempart en sept. 1998,
qui a provoqué un barrage pendant
plusieurs mois dans la rivière, sans
provoquer d'embâcle-débâcle.
Remparts: érosion=microavalanches,
permanent, éboulements d'écailles
et de blocs de roche, arrachemen

Rive droite de la ravine à Jacquot,
grandes cicatrices d'érosion,
chenalisation du lit de la ravine pour
ralentir l'érosion.

Une coulée de boue a traversé la route.

Fascines.
Aménagement il y a 19 ans, puis renardage,
tout a été érodé, et re-fascines.

Dans le cirque de Salazie, beaucoup de défrichements;
problèmatique liée aux indivisions.
Ravine, aménagée depuis.

Erosion, décapage, ravinements, érosions régressives.
Problème des mares chargeant les nappes,
émergences, effondrements en bords de remparts,
puis érosion régressive.

Cultures d'ananas et de canne à sucre, affleurement de basalte.
Fossés, chemins d'exploitation aval pente
induisant de l'érosion.

Bananeraies sur sol nu, forte pente

grande parcelle mise à nu, épierrage grossier

Parcelle pentue qui vient de se voir
ajouter des canaux d'irrigation.
Une fuite mineure sur un embranchement
pour un arroseur se traduit déjà par une petite
érosion en rigole.

Dans grande parcelle de canne à sucre récoltée,
assez pentue: pas de traces d'érosion observées.

Canne à l'aspect sauvage, brûlée, forte pente,
pas de trace d'érosion; peut-être creeping?

Dans la canne, différents stades de culture

Sol érodé
-> paillage avec géranium ou légumineuses
-> regénération d'un bon sol

Andosols mis à nu
-> un peu de dessication -> pulvérulence
-> érosion

Débordement venu du Bras de Pontho,
l'eau a été déviée par aménagement,
a suivi la route et est sortie
de son bassin versant
en ravinant pendant 1km ...

... le ravinement a continué
pour rejoindre le cours initial
du Bras de Pontho

Chemin creux raviné, microravinement
devenant très gros ravinement en aval;
traces de ruissellements parallèles à l'axe du thalweg
dans les champs adjacents.

Erosion en mini-rigoles
affectant le sol travaillé au rotavator

Dans le Sud-Est:
beaucoup d'agriculture avec
travail intense du sol.
Colonisation par mousses sur
sol érodé à cause désherbage sous vergers.

Fig. 1: Points d'observation de phénomènes érosifs sur le terrain

2.1. TYPES D'ÉROSION NATURELLE : APPROCHE GÉOMORPHOLOGIQUE

Les types d'érosion naturelle sont cartographiables par photo-interprétation, en observant, à la géomorphologie des terrains, les phénomènes érosifs ayant induit, induisant ou étant induits par les surfaces morphologiques. On a donc procédé à l'interprétation géomorphologique de l'ensemble de l'île, en se basant sur l'analyse des photographies aériennes de l'IGN de 1997, en interprétant le modelé du relief à l'aide d'un stéréoscope.

Au cours de cette opération, on a réalisé une cartographie des unités géomorphologiques au comportement érosif similaire, qualitativement et quantitativement. Chaque zone se voit ainsi renseignée en intensité (Fig. 2) et en typologie (Fig. 3) de l'érosion. Il en résulte une couverture complète d'objets polygonaux sur l'île.

La digitalisation des données s'est faite au fur et à mesure de l'avancement de l'interprétation, directement sur écran, en se repérant sur le fond des orthophotographies de l'IGN et sur les données de la BD Topo® de l'IGN. L'échelle de digitalisation a été variable, en fonction des détails et de la complexité des zones ; elle a généralement été de l'ordre du 1/25 000, ce qui garantit *a fortiori* une bonne restitution au 1/50 000. Dans les zones les plus complexes, où les phénomènes érosifs sont les plus prononcés, comme l'ouest du Cirque de Mafate et le sud-ouest du Cirque de Cilaos, l'échelle de digitalisation était communément du 1/10 000 ; on est parfois même allé jusqu'au 1/5 000.

2.1.1. Intensité du phénomène érosif naturel

On a défini une échelle simple d'intensité croissante des phénomènes érosifs allant de 0 à 4 ; l'intensité de niveau 4 correspond généralement aux zones d'érosion active.
Le Tableau 1 définit cette quantification, et mentionne le compte d'objets polygonaux.

Code	Compte	Intensité érosive
0	596	Érosion négligeable
1	111	Érosion faible
2	188	Érosion moyenne
3	200	Zones de forte érosion
4	300	Zones de très forte érosion, actives

Tableau 1 : Échelle d'intensité de l'érosion naturelle

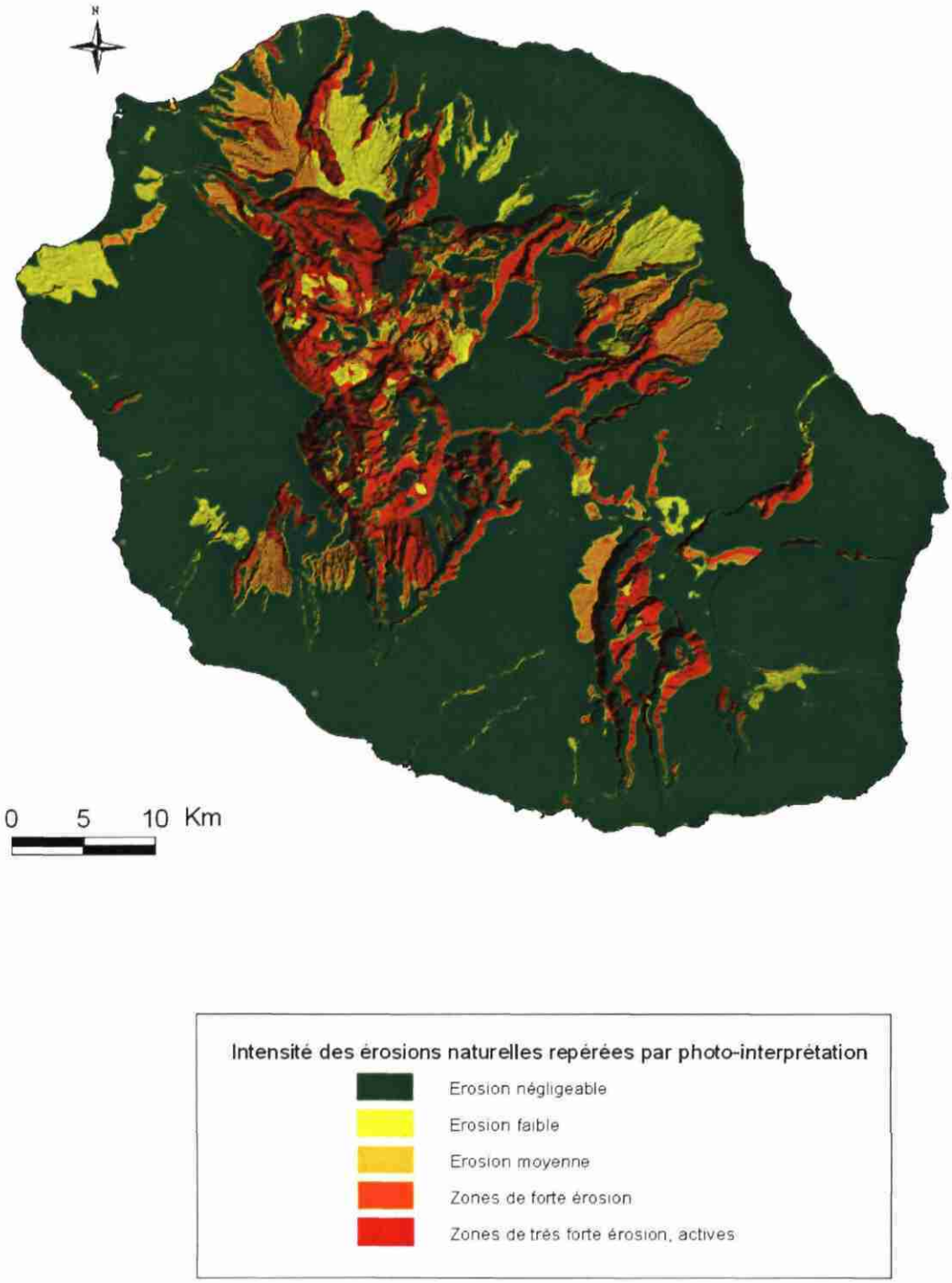


Fig. 2 : Cartographie des unités géomorphologiques : intensité des phénomènes érosifs

2.1.2. Typologie de l'érosion naturelle

Au fur et à mesure de l'avancement des travaux, on a considérablement enrichi la typologie des zones d'érosion naturelles. Le Tableau 2 liste les 36 types d'érosion rencontrés à La Réunion, avec le compte d'objets polygonaux de chaque type.

Type_Erosion	Compte
alluvions	84
bad-lands	7
colluvions	16
coulées de boue	1
coulées de lave récentes	19
cratère	6
cône alluvial	15
cône de scories	105
débris de l'éboulement de Mahavel 1965	2
falaise littorale	11
fond de vallée	10
ilet	104
paleo-surface	50
paquet glissé	2
pente ravinée	18
plaine des Sables	1
planèze volcanique	81
plateau sommital	4
pseudo-bad-lands	23
ravinement serré	4
rempart	40
rempart strié	17
route du littoral	1
sables	3
surface basse littorale	14
surface en pente	8
sédimentation lacustre	3
terrasse alluviale	126
vallée perchée	9
vallées parallèles	6
vire de montagne	2
érosion active	322
érosion anthropique	36
érosion de pente	77
érosion de vallée	166
érosion ruiniforme montagnarde	2

Tableau 2 : Différents types de zones d'érosion naturelle

Quelques cas très particuliers ont été recensés, dont le nombre de polygones est faible. La "route du littoral" est, ainsi, un objet unique, un aménagement au comportement particulier vis-à-vis de l'érosion. Il en est de même pour les " débris de l'éboulement de Mahavel 1965" ou pour les érosions typiquement montagnardes, ces dernières se rencontrant uniquement sur les flancs des reliefs les plus élevés du massif du Piton des Neiges. De même, les érosions anthropiques n'ont guère leur place ici, mais il s'agit en fait de zones où l'érosion causée par l'homme a pris une telle ampleur qu'elle a façonné la morphologie, de telle sorte qu'elle apparaît sur les photographies aériennes.

Cette typologie et les contours cartographiques sont interprétatifs, car il existe en fait un continuum entre les phénomènes érosifs, dans l'espace comme dans leur classification. Ces 36 types ont ensuite été regroupés en 14 grandes familles (Tableau 3).

Groupe	Type_Erosion
Érosions actives	érosion active
	bad-lands
Pseudo bad-lands	pseudo-bad-lands
Ravinements	ravinement serré
Érosions de pente	pente ravinée
	érosion de pente
	surface en pente
Remparts	rempart
	rempart strié
Érosions montagnardes	érosion ruiniforme montagnarde
	vire de montagne
Érosions de vallée	fond de vallée
	vallée perchée
	vallées parallèles
	érosion de vallée
Planèzes	planèze
Surfaces	paleo-surface
	ilet
	plateau sommital
Érosions anthropiques	érosion anthropique
Colluvions	paquet glissé
	colluvions
	débris de l'éboulement de Mahavel 1965
Alluvions	sédimentation lacustre
	alluvions
	coulées de boue
	terrasse
	sables
	cône alluvial
Érosions côtières	falaise littorale
	route du littoral
	surface basse littorale
Érosions spécifiques au volcanisme	plaine des Sables
	cône de scories
	cratère
	coulées de lave récentes

Tableau 3 : Regroupement des types d'érosion naturelle en grandes familles

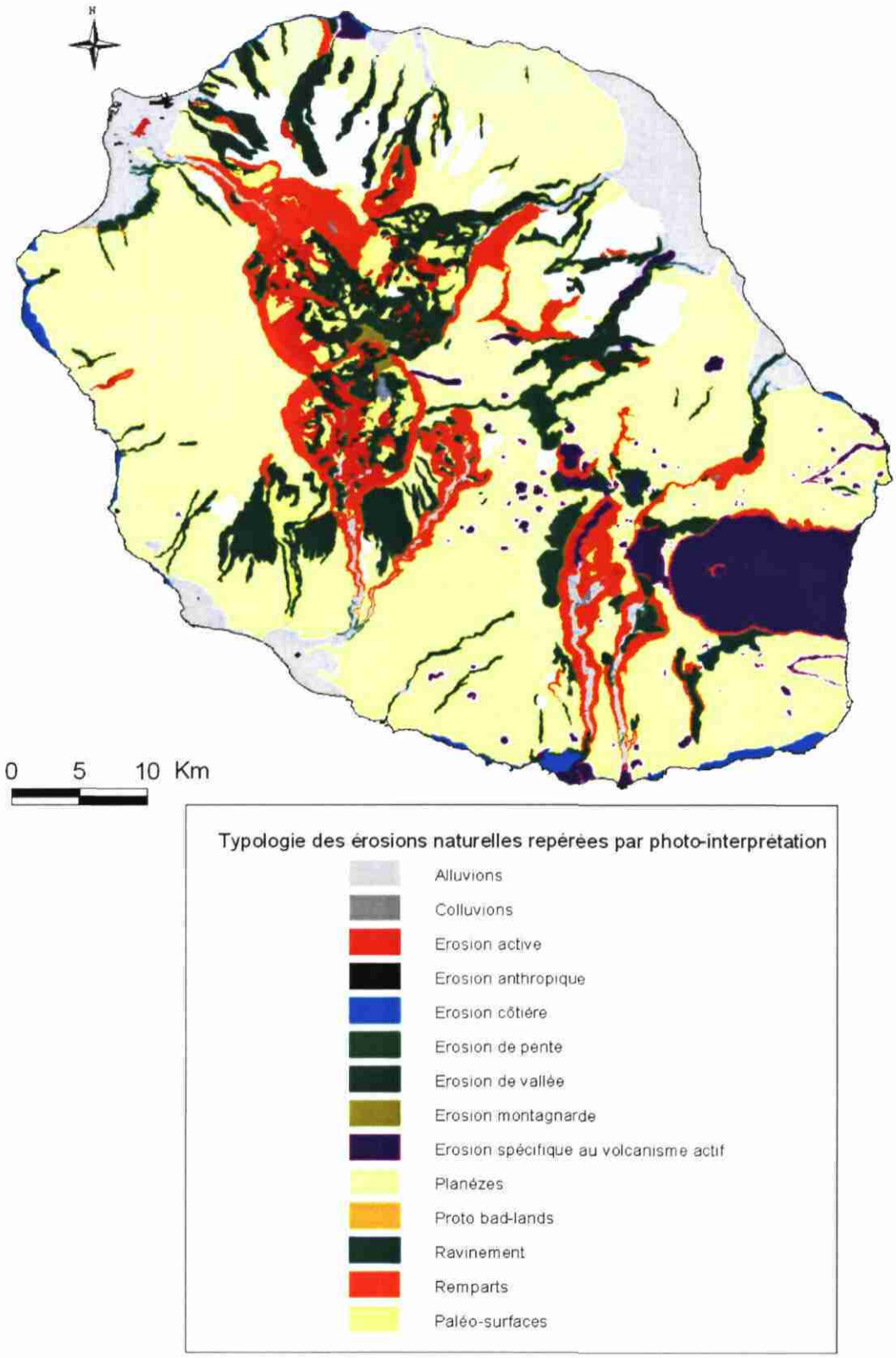


Fig. 3 : Cartographie des unités géomorphologiques : typologie des phénomènes érosifs

On a également observé nombre de chronologies relatives de surfaces d'érosion (Fig. 15), de reprises de zones par des fronts d'érosion régressive, ainsi que l'interrelation entre certains types érosifs et le contexte géologique et structural ou l'exposition des versants.

Dans le cas des ravines étroites, fort nombreuses sur le territoire réunionnais, leur digitalisation a pu être automatisée, à partir de la base de données topographiques (Bd Topo® de l'IGN) de La Réunion, en se basant sur le réseau hydrographique et sur le MNT (Modèle Numérique de Terrain) (Fig. 4). On obtient ainsi, au final, une carte exhaustive des types d'érosion naturelle visibles en surface, qu'il s'agisse d'érosions anciennes ou actives, renseignée en typologie et en intensité (Fig. 5 et Fig. 6).

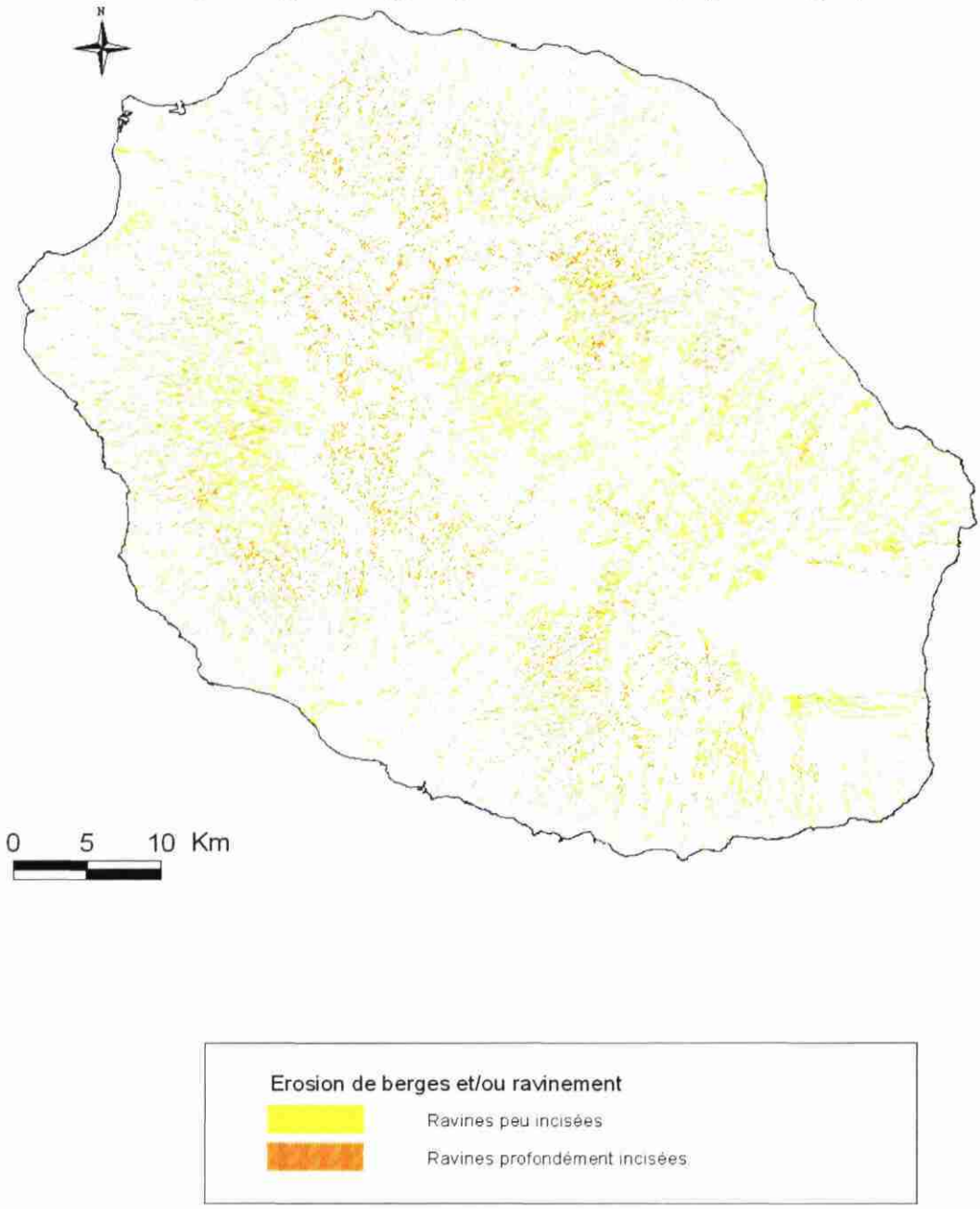


Fig. 4 : Cartographie semi-automatique des zones de ravines étroites

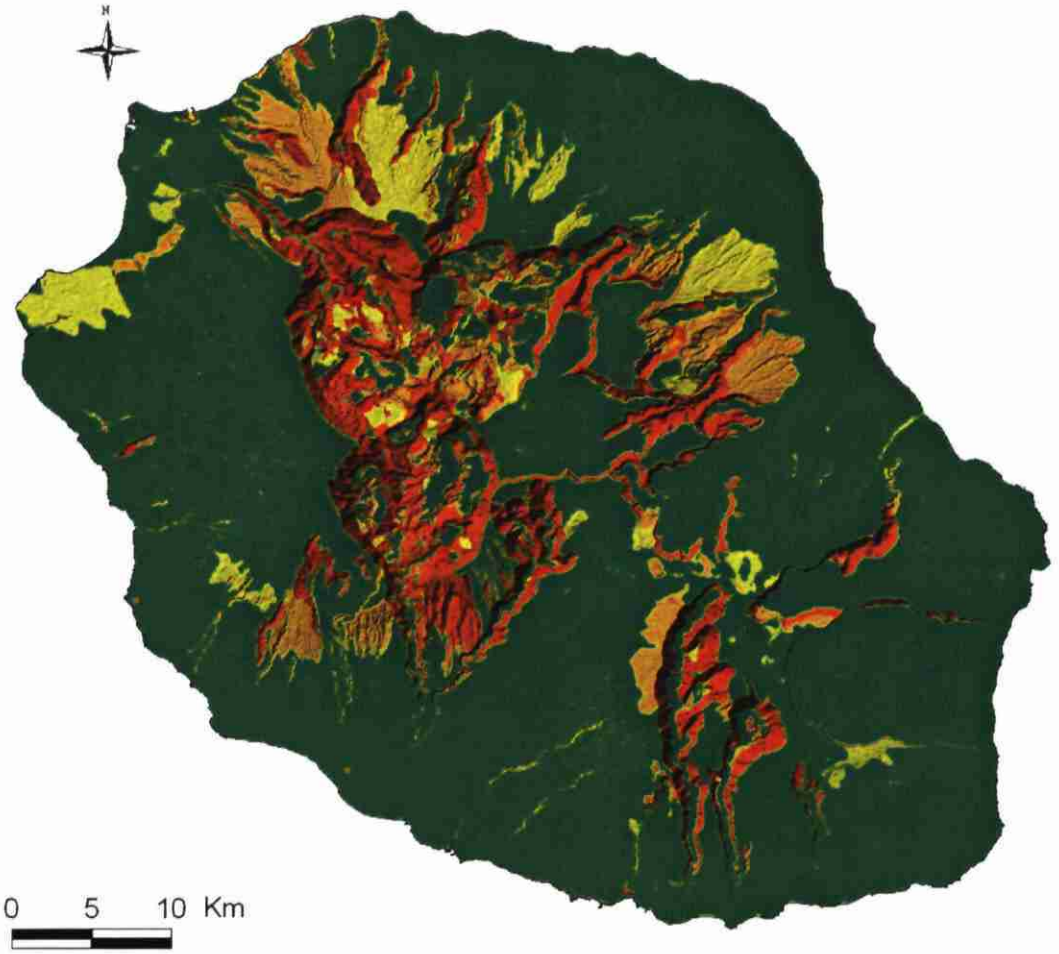
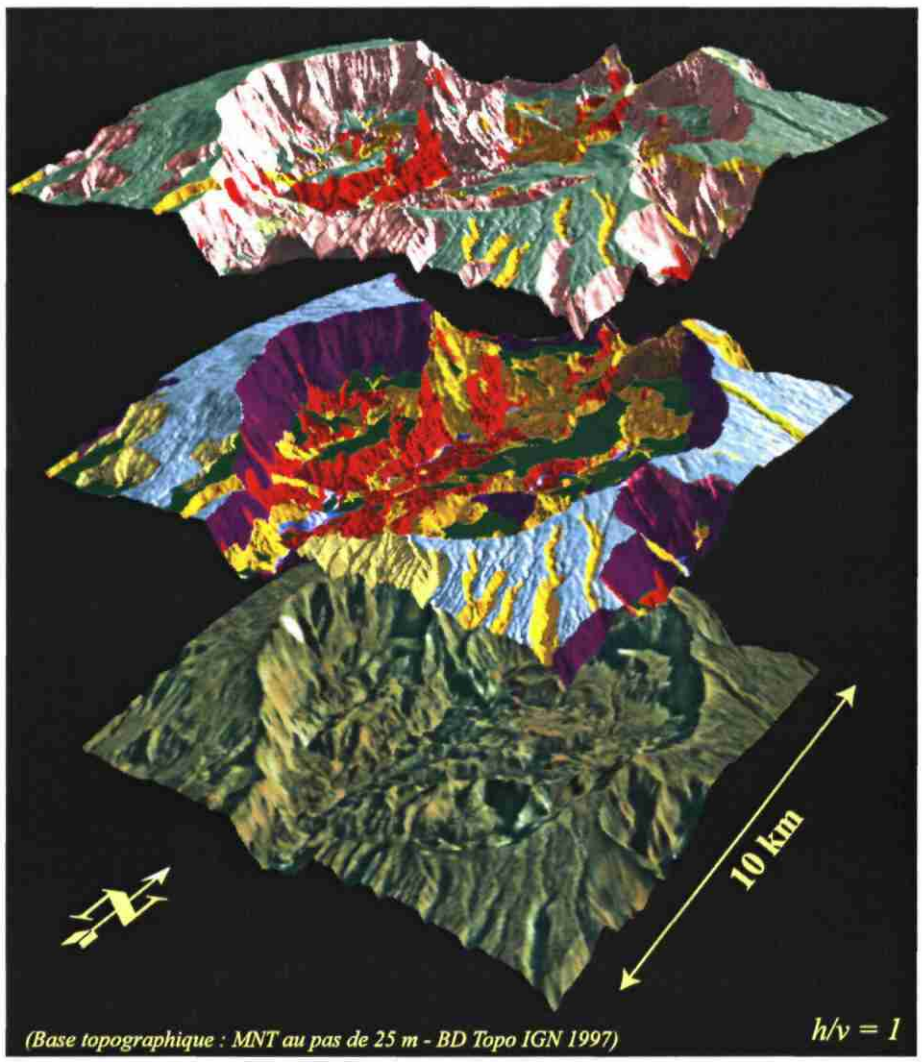


Fig. 5 : Cartographie de l'érosion naturelle par niveau d'intensité



Intensité des phénomènes

- **0** (phénomènes inexistants ou très peu actifs)
- **1** (phénomènes peu actifs)
- **2** (phénomènes assez actifs)
- **3** (phénomènes très actifs)
- **4** (zones "d'érosion active")

Nature des phénomènes

- Planèzes
- Ilets et assimilés
- Terrasses alluviales
- Edifices volcaniques récents
- Vallées et pentes à ruissellement dominant
- Pseudo-badlands et ravinements parallèles
- Processus érosifs de haute montagne
- Remparts
- Erosion active

Fig. 6 : Nature et intensité des phénomènes érosifs : exemple dans le Cirque de Cilaos

2.2. EROSION ANTHROPIQUE : APPROCHE PAR CARTOGRAPHIE AUTOMATIQUE

En ce qui concerne la cartographie des zones d'érosion d'origine anthropique, les facteurs primordiaux sont les activités agricoles (pratiques culturales impliquant la mise à nu temporaire ou permanente du sol) et les aménagements induisant des modifications des écoulements de surface et de l'exposition du sol aux facteurs climatiques. Il n'y a pas de caractéristique géomorphologique exprimée : la photo-interprétation n'est donc ici d'aucune aide ; on a été amené à adopter une méthodologie basée sur les traitements automatiques de données géoréférencées.

On a ainsi cherché à définir des régions ou microrégions agricoles, de type agraire et d'occupation des sols homogènes, présentant donc des réactions érosives similaires. On s'est basé sur la couche occupation du sol de la BD Topo® (Fig. 7), en procédant à une révision et une correction de ces données de base, en identifiant et qualifiant correctement les zones de la BD Topo® (Fig. 8) en fonction de la connaissance du terrain qu'ont les spécialistes de l'APR. Quatre classes ont été identifiées, par ordre décroissant d'impact sur l'érosion (Tableau 4).

Impact sur l'érosion	Occupation du sol corrigée
Forte	Bananeraie
Moyenne	Vigne
	Verger
Faible	Prairie
	Savane
	Canne à sucre
	Zone de friches
Nul, protecteur	Bouquet d'arbres
	Forêt

Tableau 4 : Relations entre occupation du sol et niveau d'érosion anthropique

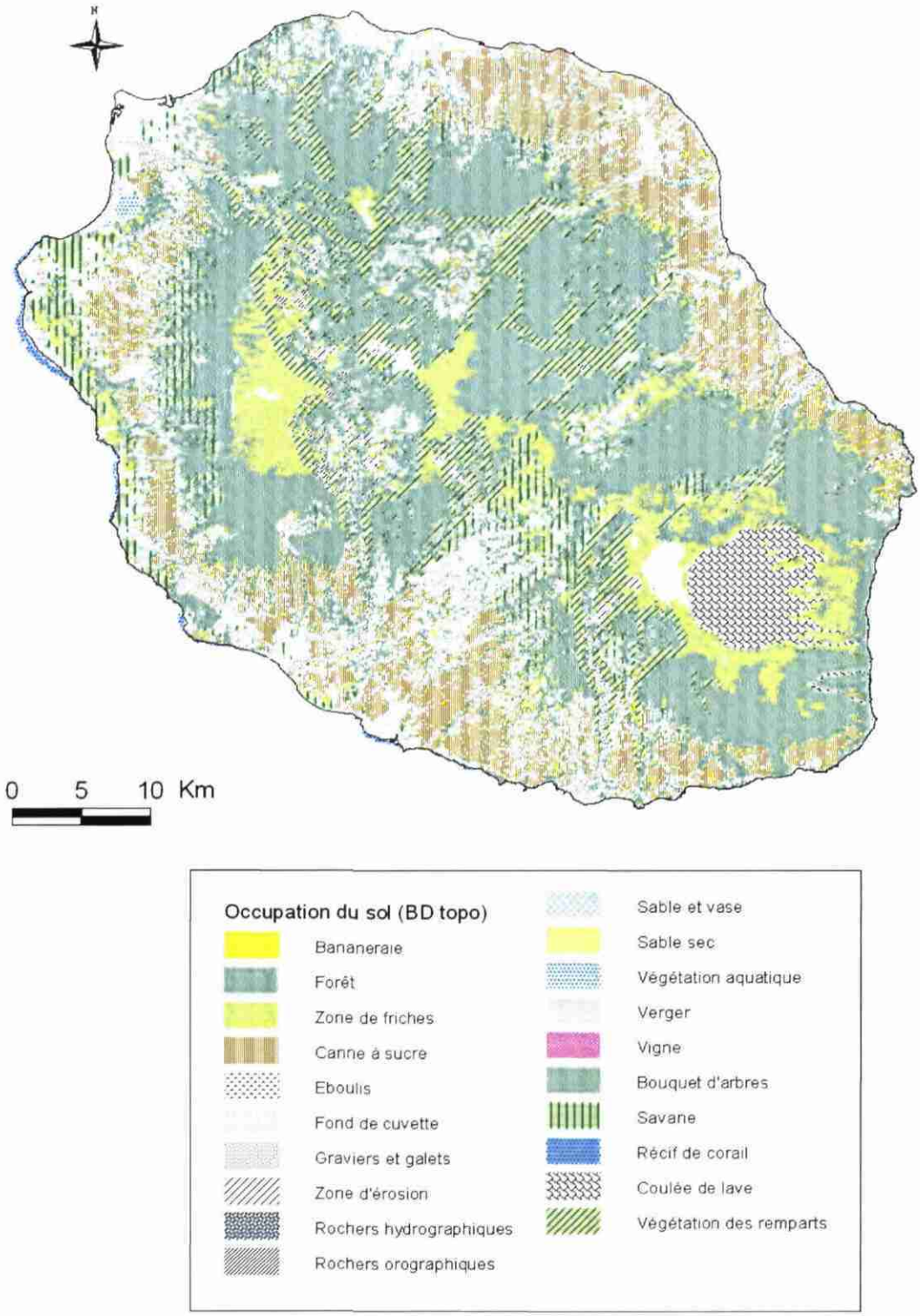


Fig. 7 : Couche occupation du sol surfacique issue de la BD Topo®

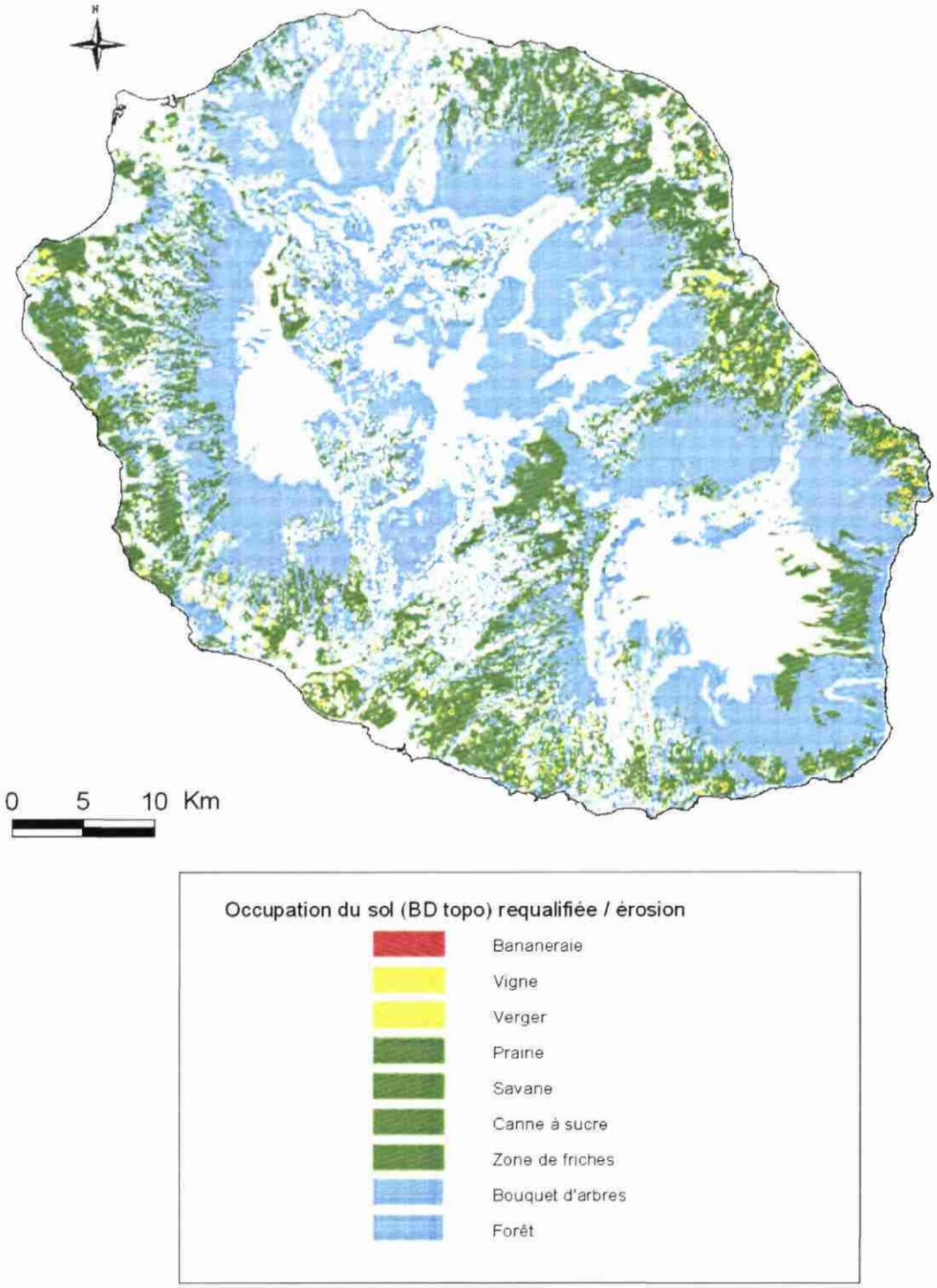


Fig. 8 : Occupation du sol surfacique corrigée et requalifiée par rapport à l'érosion

Un certain nombre de zones du territoire n'est pas informé dans la couche occupation du sol ; or, il est apparu que ces zones étaient fréquemment particulièrement sensibles, du point de vue de l'érosion. On a donc d'abord déterminé géométriquement ces "trous", on y a soustrait les zones urbaines, puis on les a identifiés en se basant, sur la connaissance du terrain. On obtient ainsi trois classes identifiées (Fig. 9). Les deux premières classes correspondent en fait au même impact érosif, la différence se faisant sur la répartition géographique dispersée ou non ("mitage") : ces trois classes ont donc été réduites à deux (Tableau 5).

Impact sur l'érosion	**Types de cultures du sol**
Fort	maraîchage et autres cultures agressives
	mêmes cultures, mais à répartition spatiale mixte
Moyen	cultures à impact érosif moins fort, répartition mixte

Tableau 5 : Niveaux d'impact sur l'érosion en fonction des types de cultures

Les deux couvertures ainsi déterminées ont ensuite été unies en une seule, en uniformisant l'échelle des phénomènes.

En ce qui concerne les érosions liées aux aménagements, elles sont bien souvent de faible extension et difficilement cartographiables ; les seules méthodes d'approche tendent en fait vers une cartographie de l'aléa (probabilité d'occurrence du phénomène) érosif, et entrent ainsi dans le cadre de la suite de cette étude.

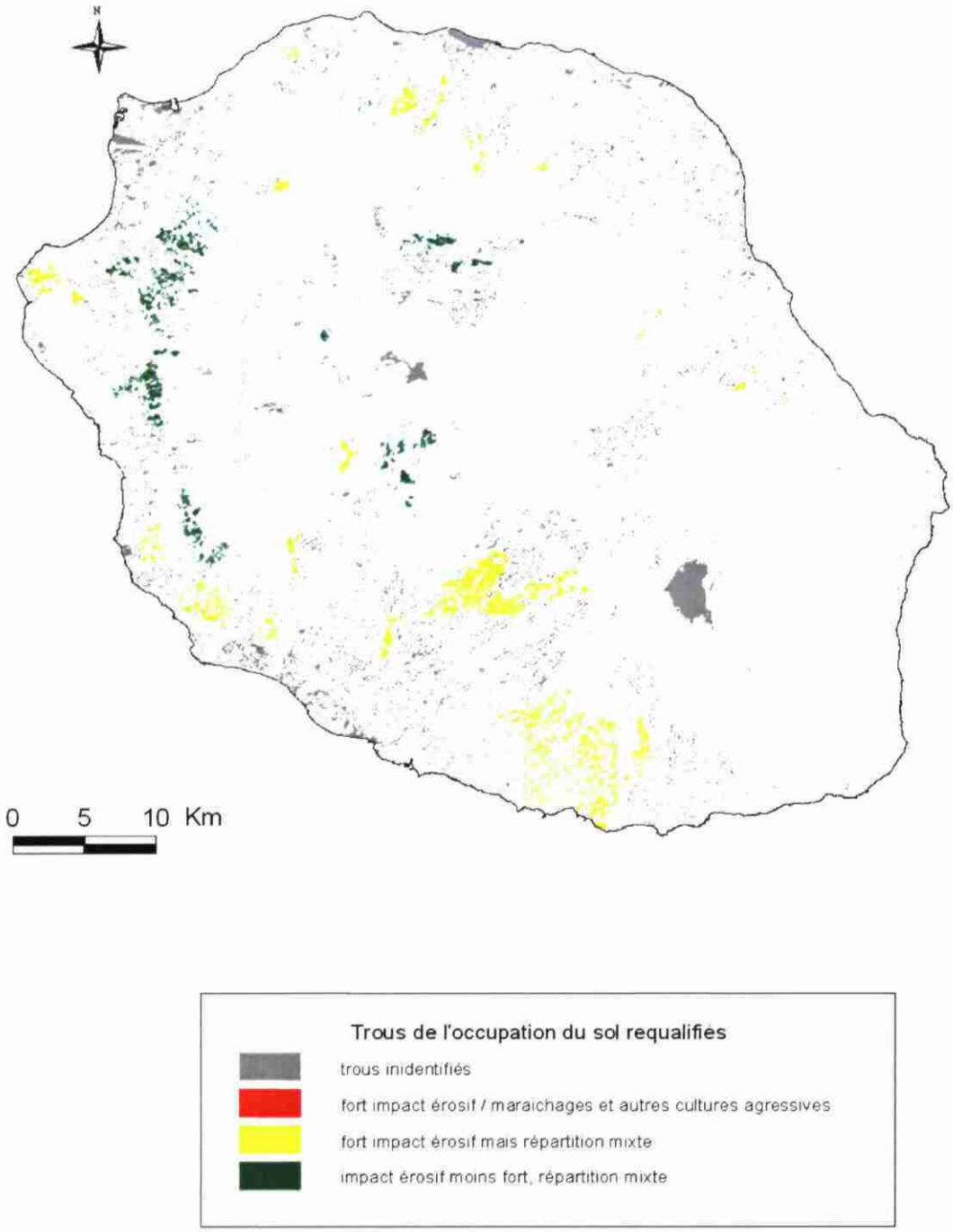


Fig. 9 : Requalification des "trous" de la couche occupation du sol surfacique

2.3. SYNTHÈSE CARTOGRAHIQUE DES DEUX APPROCHES

Les couvertures issues de ces deux méthodologies ont été fusionnées en une seule, de manière à permettre la représentation cartographique simple et synthétique des phénomènes érosifs naturels et anthropiques. Pour les intersections des couvertures, on a fait dominer, selon les processus mis en cause, les érosions agricoles fortes dans les lieux d'érosion naturelles faible et réciproquement ; en situation intermédiaire, on a procédé à une analyse au cas par cas. Les croisements qui ont été faits sont indiqués dans le Tableau 6. Une seule modification manuelle a été faite, dans le cas de l'Enclos, sur le massif du Piton de la Fournaise, en y faisant prédominer l'érosion naturelle, car les phénomènes d'érosion anthropique issues de la BD Topo® n'avaient pas de sens.

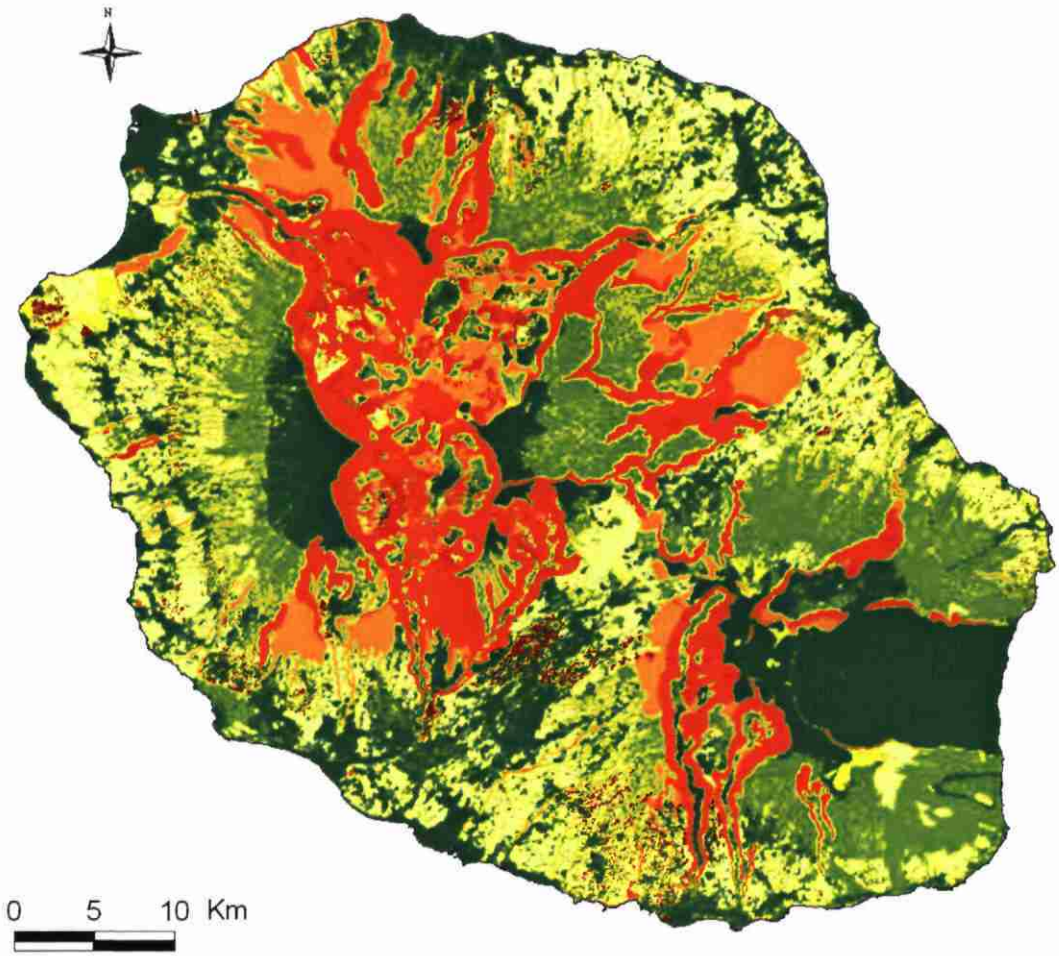
			Erosion liée à l'occupation du sol					
			Erosion négligeable	Erosion quasi inexistante, couvert forestier	Erosion peu fréquente, essentiellement liée à la mise en valeur des terrains	Erosion peu marquée, cultures pérennes assez protectrices	Erosion fréquente, travail du sol ou cultures peu couvrantes	Erosion souvent spectaculaire plus ou moins généralisée, travail du sol agressif et fréquent
			0	5	6	7	8	9
Erosion des unités géomorphologiques	Erosion négligeable	0	0	5	6	7	8	9
	Erosion faible	1	1	5	6	7	8	9
	Erosion moyenne	2	2	2	2	7	8	9
	Zones de forte érosion	3	3	3	3	3	3	3
	Zones de très forte érosion, actives	4	4	4	4	4	4	(sans objet)

Tableau 6 : Matrice de choix de prédominance entre types érosifs

Le rendu cartographique final est donc le fruit de la synthèse de ces données. On a volontairement mélangé des types d'érosion très différents, s'intégrant sur des échelles de temps et d'espace d'ordres de grandeur différents, mais correspondant, au fond, aux mêmes phénomènes.

Les deux échelles d'intensité des phénomènes sont subjectives et issues d'interprétations. La confrontation des points de vue a montré que la gradation de l'intensité des phénomènes est suffisamment comparable dans les deux cas pour que le rendu sous forme d'une double échelle de couleurs soit justifié (Fig. 10), et que le résultat final soit pertinent.

Une carte homogénéisée peut aussi être rendue (Fig. 11), mais elle rend moins bien compte de la dualité des approches et des phénomènes ; cette solution n'a donc pas été retenue pour le rendu cartographique final.



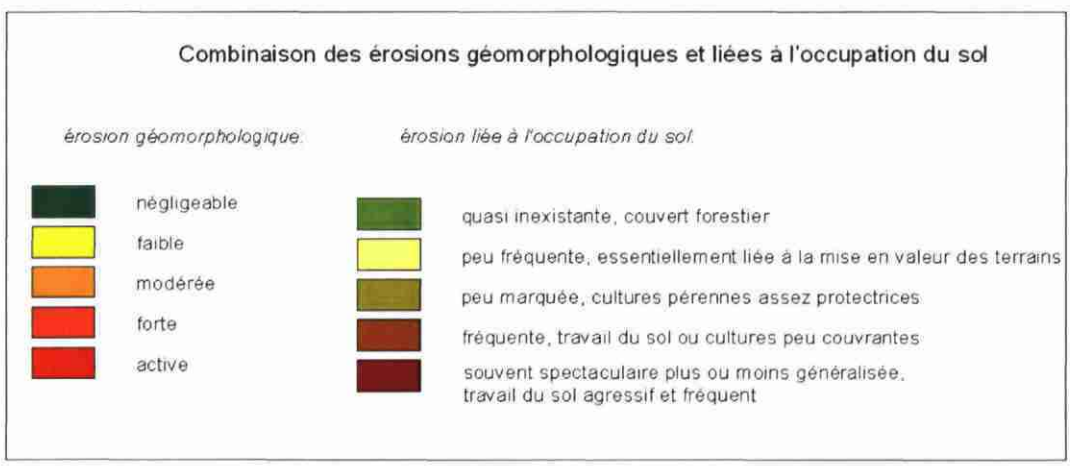


Fig. 10 : Synthèse cartographique des érosions géomorphologiques et liées à l'occupation du sol

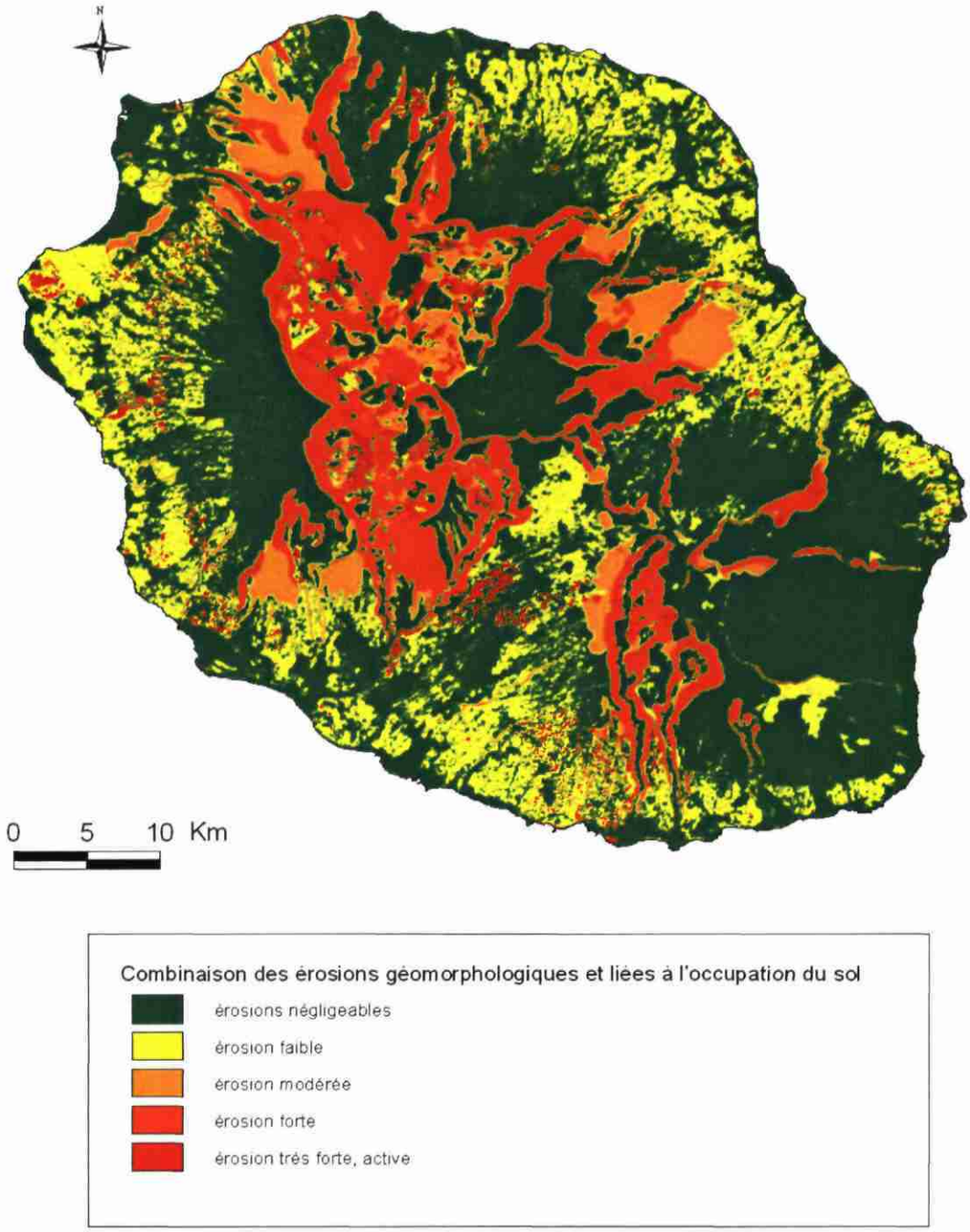


Fig. 11 : Synthèse cartographique des érosions géomorphologiques et liées à l'occupation du sol, avec une échelle d'intensité unique

3. Typologie des phénomènes érosifs

3.1. Types de morphologies caractéristiques de phénomènes d'érosion naturelle

Pour chaque type de phénomène érosif, on adoptera le plan de présentation suivant :

- description morphologique : on décrit les manifestations du phénomène, les caractéristiques du modelé du terrain, son aspect, ses caractéristiques sur photographies aériennes en stéréoscopie ;
- phénomènes et processus opérants : on tente d'expliquer les géomorphologies en identifiant les mécanismes et facteurs aboutissant ou ayant abouti au modelé actuel du relief ;
- répartition et contrôle : localisation des zones, et éventuellement explication des phénomènes (donc de la typologie) par des facteurs prédominants tels que la pente, la lithologie… ;
- évolution prévisible : selon le cas, on mentionne les possibilités ou non d'évolution des processus érosifs, arrêt, continuation, ou redémarrage.

Sont fournis, dans la suite du texte, à titre d'exemple, des croquis explicatifs (localisation des croquis : Fig. 12) et cartes montrant les caractéristiques des zones d'érosion, et leur répartition géographique.

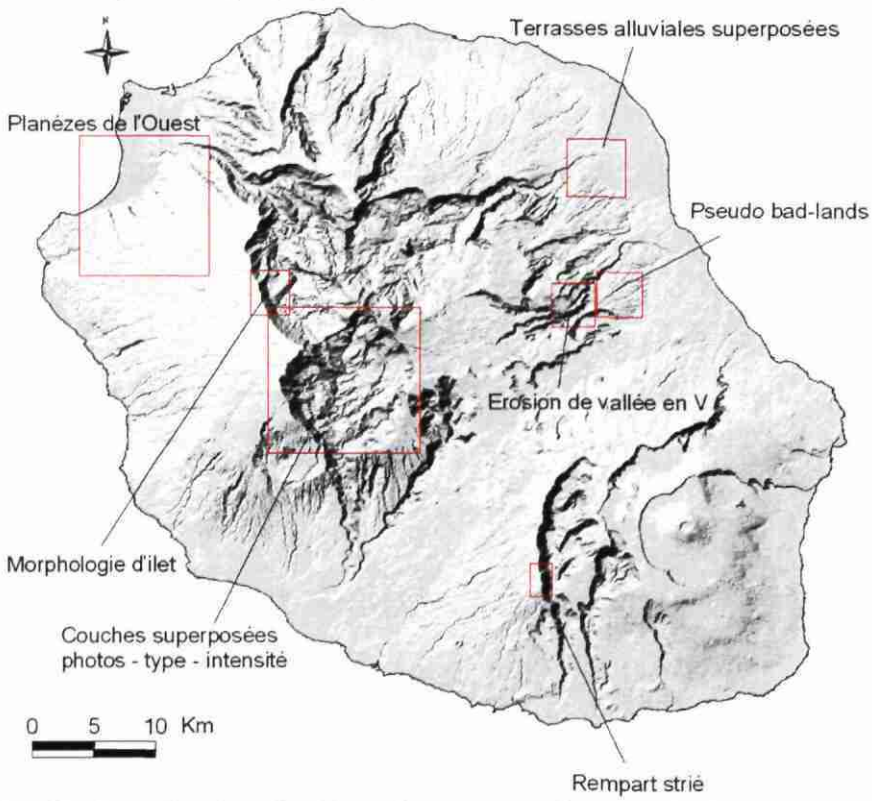


Fig. 12 : Localisation des bloc-diagrammes des morphologies érosives

3.1.1. Zones d'érosion active

a) Description morphologique

Les zones d'érosion active sont des régions "vivantes" où les départs de matière sont fréquents à l'heure actuelle ; la végétation n'ayant pas le temps de s'y implanter, ou étant immédiatement emportée, ces zones (Fig. 17) se repèrent aisément sur photographies aériennes par leur quasi-absence de végétation (Fig. 13). Souvent, des zones de dépôt leur sont immédiatement associées à l'aval. Un "front d'érosion" limite, à l'amont, ces secteurs et constitue une frontière nette entre la zone d'érosion active et la zone non ou moins touchée par les phénomènes érosifs (Fig. 14).

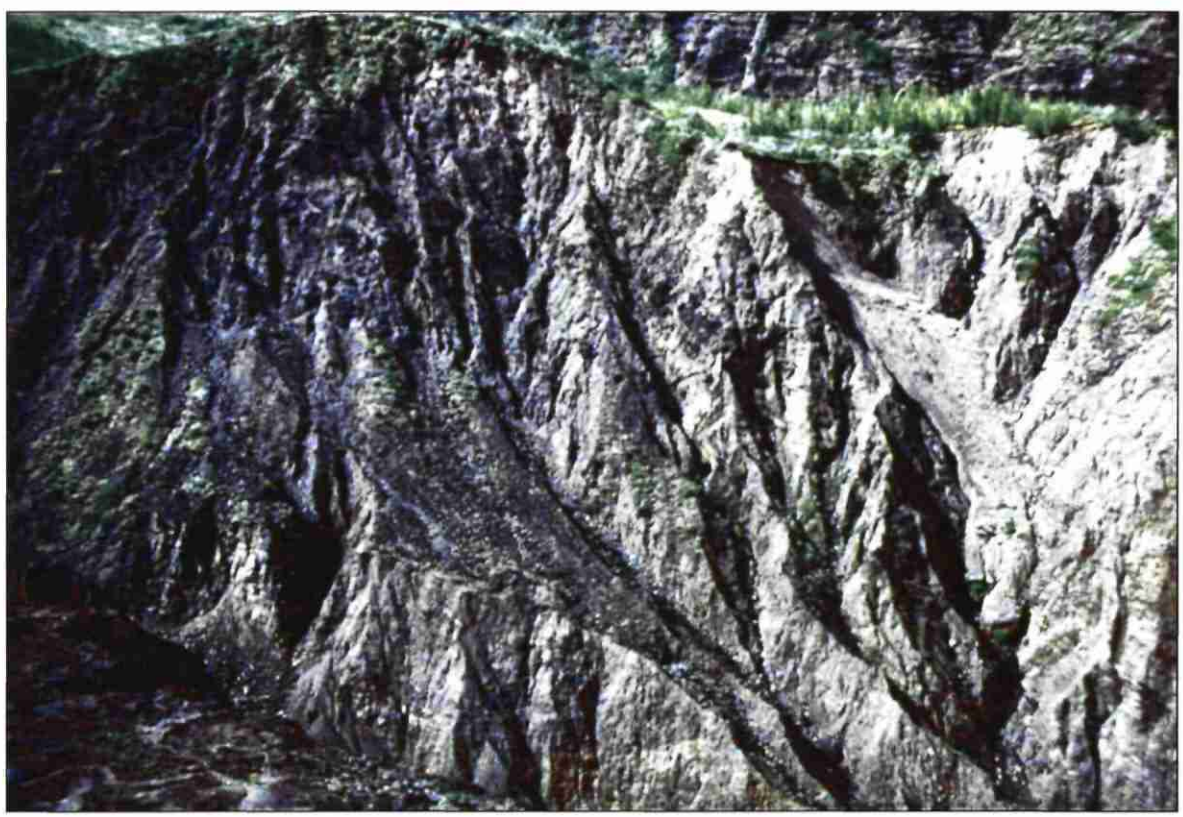


Fig. 13 : Exemple de zone d'érosion active dans le Cirque de Salazie

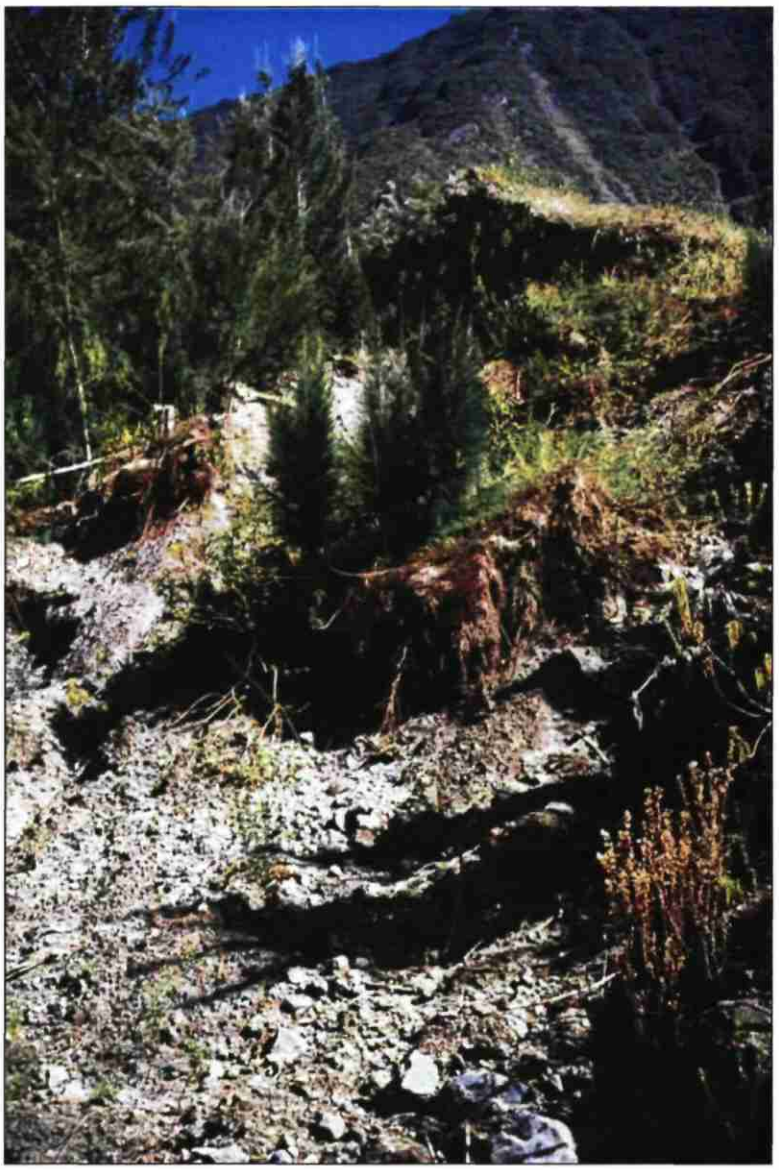


Fig. 14 : Front d'érosion active régressive : exemple de Roche à Jacquot, Grand Ilet

Une remarque intéressante concernant l'évolution des zones d'érosion active peut être faite dans le cas du Cirque de Mafate : Humbert *et al.* y ont effectué une cartographie détaillée des phénomènes érosifs en 1986, mais il n'y est pas fait mention de quelques zones aujourd'hui particulièrement actives dans le sud-ouest du cirque (Fig. 15). L'explication la plus probable est que cette évolution est très récente, en tous cas postérieure à leur travail.

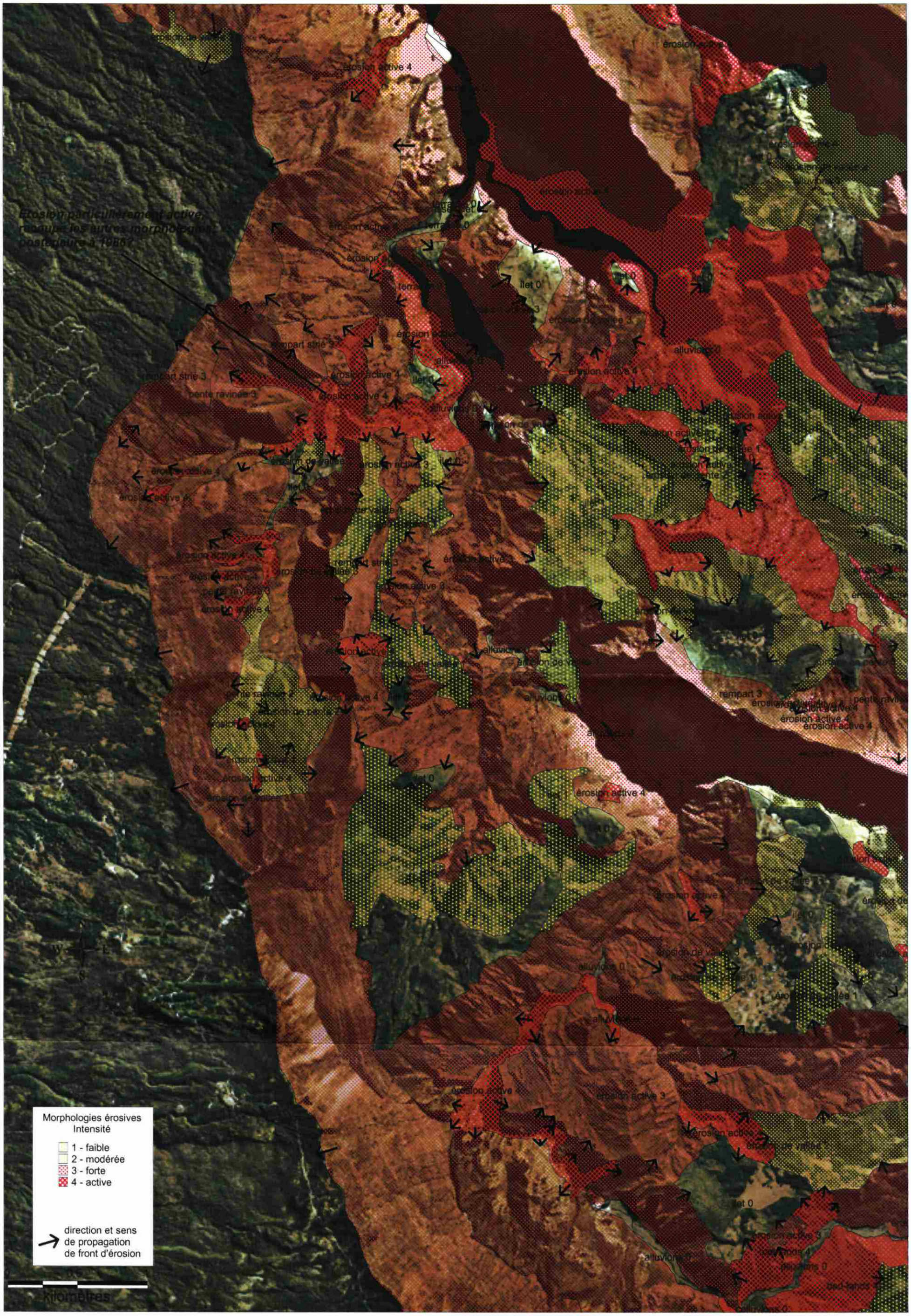


Fig. 15: Zones érosives particulièrement actives dans le Sud-Ouest du Cirque de Mafate, chronologies relatives de morphologies érosives

b) Phénomènes et processus opérants

Dans tous ces secteurs d'érosion active, la quasi totalité des phénomènes de départ de matière sont représentés, de façon très importante :

- phénomènes liés aux mouvements de terrain :
  - chutes de pierres et de blocs ;
  - éboulements ;
  - glissements de terrain (et leurs évolutions en éboulement ou coulée de boue) ;

- phénomènes liés aux eaux pluviales :
  - le ruissellement des eaux pluviales sur les pentes dénudées provoque le développement de ravinements concentrés, coalescents ; ils peuvent communément évoluer vers des "bad-lands" (ravinements profonds, coalescents) (Fig. 16) ;
  - le choc des gouttes d'eau provoque la désagrégation et l'arrachement de particules de sol, voire de roches ;

- phénomènes éoliens :
  - bien que leur rôle soit moins important, les vents violents peuvent contribuer à l'ablation de particules de matière.

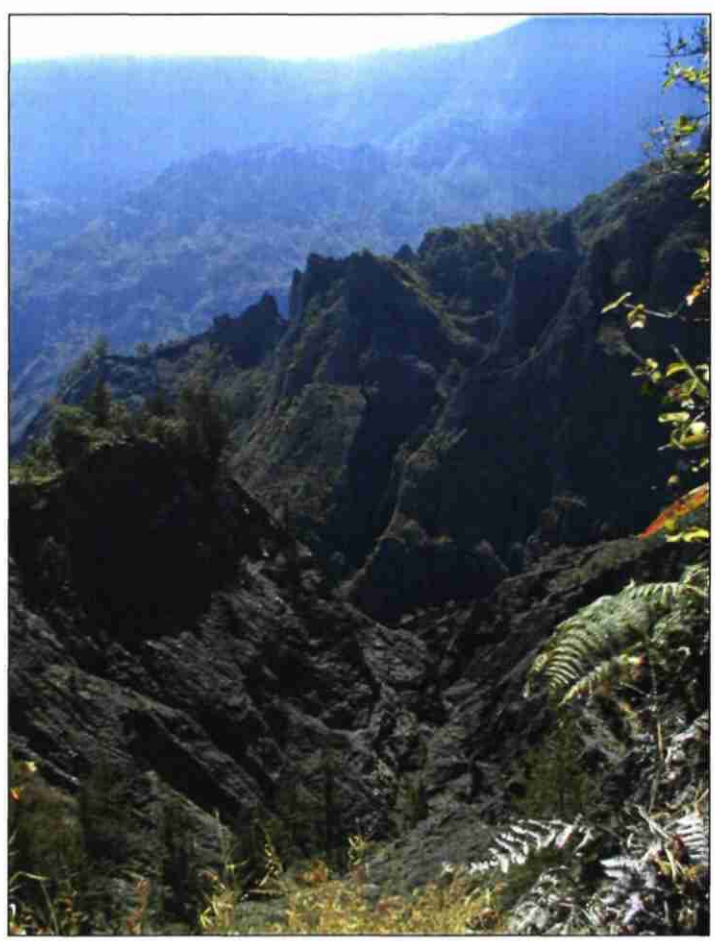


Fig. 16 : Ravine des Aigrettes : exemple d'érosion active par ravinement intense

c) Répartition et contrôle

On observe une répartition très inégale des zones d'érosion active, avec deux secteurs de l'île particulièrement touchés : le sud-ouest du Cirque de Mafate et l'ouest du Cirque de Cilaos (Fig. 17).

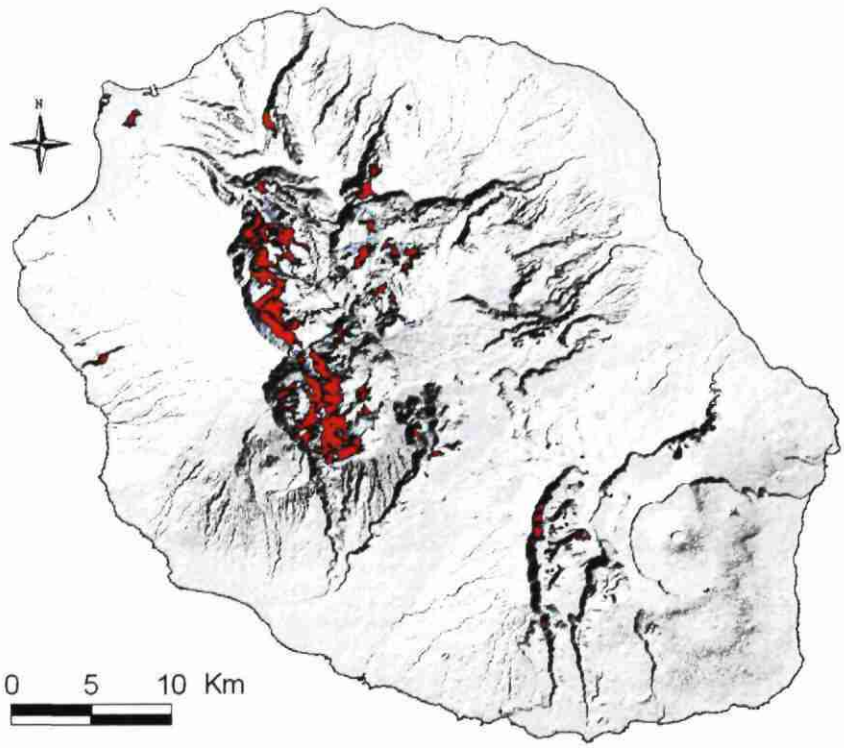


Fig. 17 : Répartition des zones d'érosion active

La répartition des zones d'érosion active dépend, très fortement, à la fois de la pente, de la lithologie et du couvert végétal. En même temps, ces zones transforment rapidement leur propre modelé, en augmentant notamment la pente.

Les fortes pentes sont des sites privilégiés d'érosion active. De nombreux remparts présentent des zones actives sur une proportion notable de leur surface.

La nature du substratum rocheux est également un facteur critique. Les brèches et agglomérats sont bien plus vulnérables à cette forme d'érosion que les coulées de lave massives ; une illustration en est donnée par la partie occidentale du Cirque de Cilaos, où, à pente égale, la quasi totalité des pentes externes des ilets (formés pour l'essentiel de formations détritiques bréchiques) est soumise à ces phénomènes, tandis que seuls d'étroits couloirs d'érosion active apparaissent sur les remparts (formés d'empilements de coulées de lave).

La conjonction de ces deux facteurs (fortes pentes et lithologie peu résistante) peut donner des effets catastrophiques, comme par exemple dans le sud-ouest du Cirque de Mafate, qui est presque intégralement (à l'exception des surfaces des ilets) affecté par de l'érosion active.

Enfin, le couvert végétal est un bon frein à cette forme d'érosion ; les régions humides de l'est sont nettement moins vulnérables que les secteurs plus secs de l'ouest et du sud. La comparaison entre les cirques de Cilaos et Salazie montre bien l'influence de la

végétation, à morphologie et géologie comparable : tandis qu'une large part du Cirque de Cilaos est affectée par l'érosion active, seuls de petits secteurs du Cirque de Salazie sont sujets à ces processus.

On observe également une influence de l'exposition sur la répartition des zones d'érosion active : ceci est flagrant, en particulier, dans le centre du Cirque de Mafate, où les ubacs (versants exposés au sud, les moins ensoleillés) sont systématiquement moins érodés que les adrets (versants exposés au nord, les plus ensoleillés). Ceci est probablement du au fait que, sur les versants ensoleillés, la végétation a moins d'opportunités de s'implanter (dessèchement, voire grillage) : elle ne peut donc contribuer à la formation d'un sol, l'absence de sol rendant encore plus difficile l'implantation de végétaux ; il y a aussi moins de rétention d'humidité. Aussi, la dessiccation des argiles constituant les sols ou les roches altérées dégrade considérablement ces dernières, provoquant leur effritement (Fig. 45). Tous ces phénomènes s'enchaînent en allant dans le même sens, et contribuent à créer des zones activement érosives s'auto-entretenant. Paradoxalement, dans ces cas, c'est la sécheresse, et non plus l'eau, qui est un facteur aggravant pour l'érosion.

d) Évolution prévisible

Les zones d'érosion active sont des secteurs où l'évolution est très rapide : creusement des ravines et recul du front d'érosion, menaçant à court terme les terrains situés à l'amont. La vitesse de déplacement du front d'érosion peut être considérable (plusieurs mètres par an), représentant une menace très réelle à court terme.

À moyen terme, il ne semble pas que les zones d'érosion active soient susceptibles de se stabiliser naturellement. L'implantation de dispositifs anti-érosifs (tels que des fascines sur les versants érodés en conjonction avec des gabions permettant de stabiliser, voire rehausser le lit des cours d'eau afin de retrouver un profil d'équilibre) permet de freiner considérablement les processus d'érosion et d'arrêter le recul d'un profil d'érosion (Fig. 18). Ceci n'est qu'une étape dans la lutte, elle précède la revégétalisation qui a pour objet de pérenniser l'arrêt de l'érosion, en conditions climatiques "normales".

Il est des cas où plusieurs facteurs concourent à une situation non maîtrisable, par exemple quand des écoulements d'eaux souterraines sourdent dans ces zones ; en période de fortes pluies, la charge hydraulique à l'arrière de la zone sensible est telle qu'elle repousse tout en surface, provoquant le départ des matériaux et des aménagements éventuels. De même, dans le cas d'un ravinement sapant la base d'une zone s'érodant, la lutte contre l'érosion est vaine tant que le ravinement n'est pas stabilisé.

À plus long terme (sauf changement climatique conséquent), les zones actives semblent vouées à s'étendre de façon incontrôlable, que ce soit par remontées de creusements linéaires ou par coalescence et regroupement de toutes les zones d'un versant. Ce dernier cas crée ainsi des secteurs totalement érodés comme le sud-ouest du Cirque de Mafate, où seules les surfaces des ilets restent préservées (bien qu'attaquées et "rongées" de toutes parts).

À très long terme, il est probable que l'érosion complète des reliefs (donc la destruction des ilets) permettra le retour de la végétation sur les pentes moins fortes, et donc l'arrêt de ces processus. Malgré la vitesse élevée de l'érosion active à La Réunion, un tel scénario n'est guère probable à l'échelle humaine.

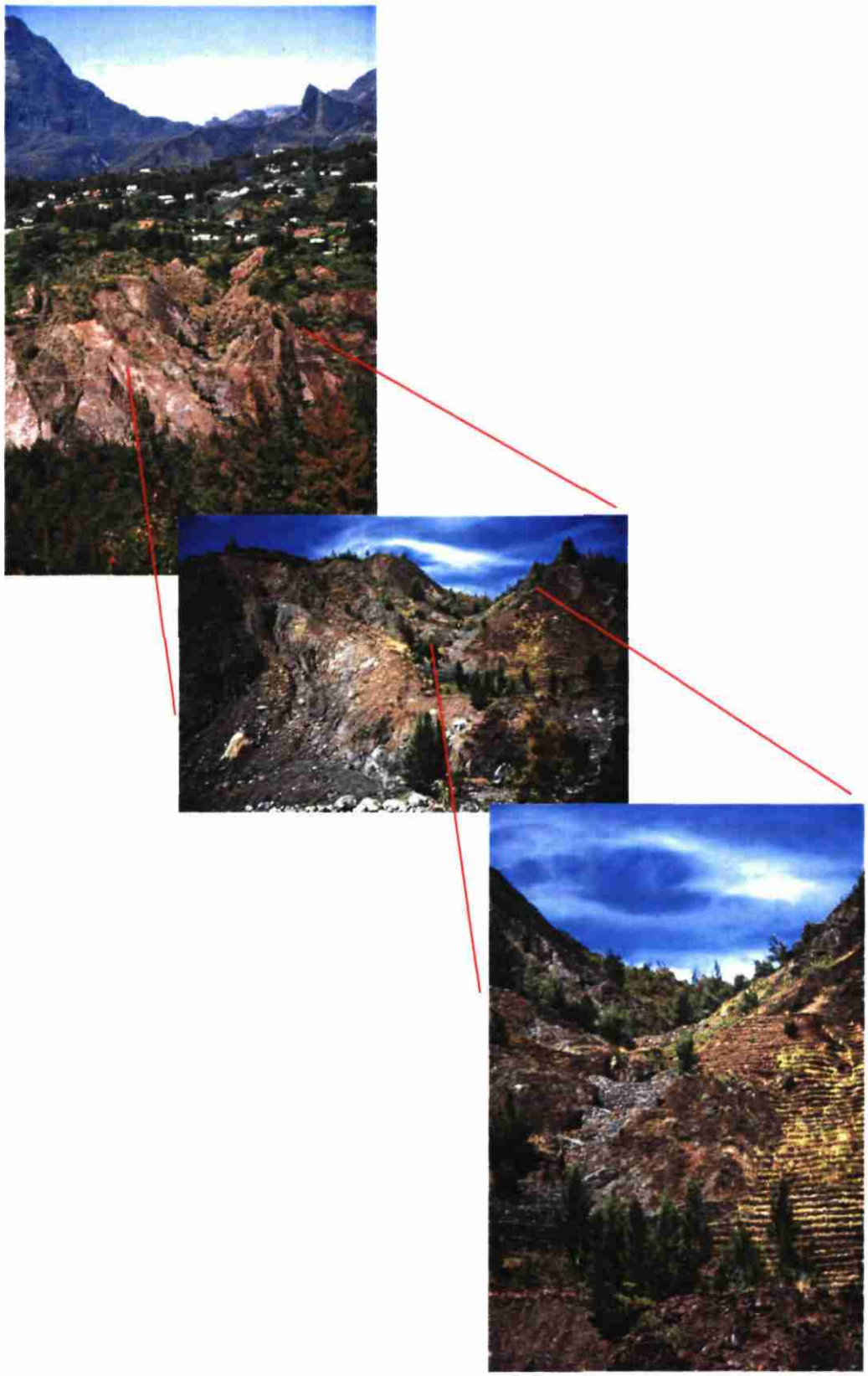


Fig. 18 : Dispositifs concertés de lutte contre l'érosion : gabions et fascines sur les pentes du plateau de Grand-Ilet

3.1.2. Remparts, érosions montagnardes

a) Description morphologique

Les remparts sont des falaises ou régions à fortes pentes (supérieures à 80 %) (Fig. 19) et fortes dénivelées, qui sont parfois couvertes de végétation. Les remparts ont fréquemment un aspect "strié" : ils montrent des rainures verticales, sub-parallèles. On peut citer les exemples des parois de la rivière des Remparts (Fig. 20), de la rivière du Mât, les remparts du Cirque de Salazie (Fig. 21).
Les érosions montagnardes sont un cas particulier qui ne concerne que les environs escarpés des hauts sommets du massif du Piton des Neiges (Fig. 19).

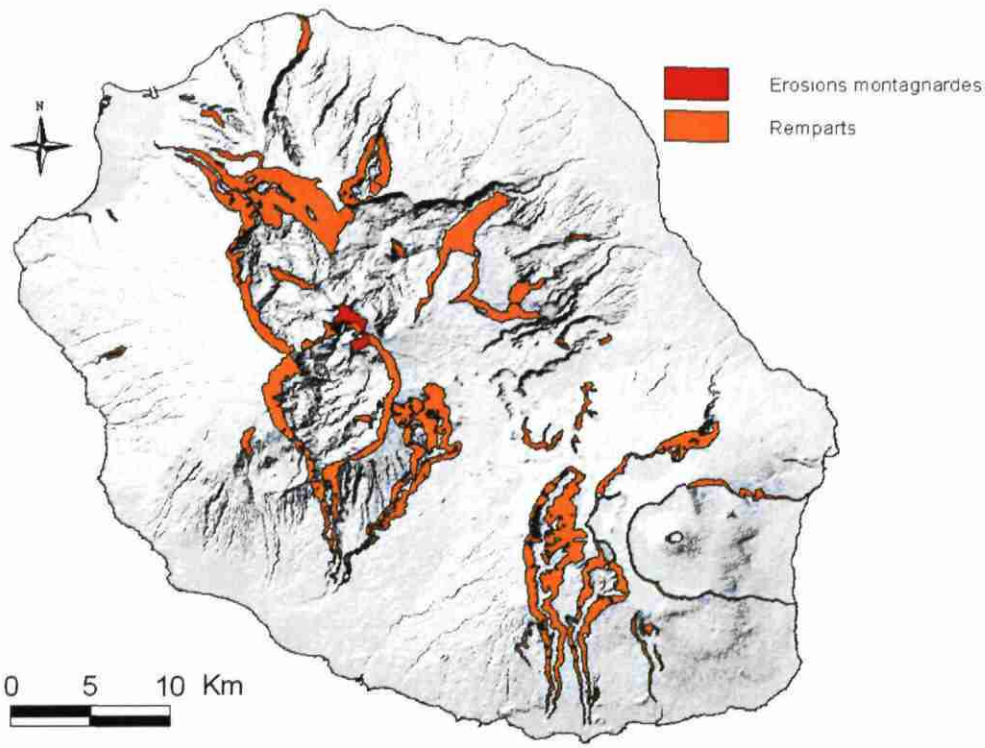


Fig. 19 : Répartition des morphologies d'érosion de remparts et de zones de montagne

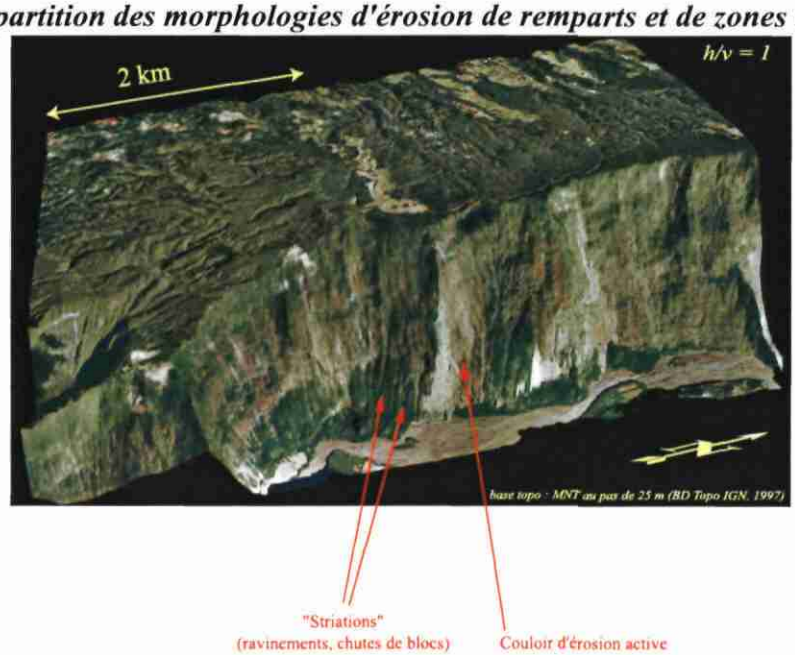


Fig. 20 : Morphologie de "rempart strié" : exemple en rive droite de la rivière des Remparts, en face du Bras Dimitile



Fig. 21 : Morphologie de "rempart strié" dans le Cirque de Salazie

b) Phénomènes et processus opérants

L'érosion des remparts intervient selon trois processus distincts : la sape de la base du relief, des écaillages ou départs de matériaux sur le rempart même (Fig. 22), et des écrêtements du sommet du rempart.

Dans la plupart des cas, l'érosion dans les remparts est principalement localisée au niveau des rainurages parallèles (Fig. 20). Ceci est essentiellement dû au ruissellement d'eaux pluviales ou émergentes qui se regroupent dans ces thalwegs particuliers, sans convergences. Des chutes de pierres et éboulements viennent parfois exagérer ces rainures, des éboulements répétés détruisant la végétation.

Ces processus sont parfois intimement mêlés. Ainsi, un scénario possible met en oeuvre l'ensemble de ces phénomènes : la chute d'un bloc créant une niche, siège d'une nouvelle émergence d'où ruissellement, création d'une goulotte, concentration des eaux pluviales et érosion par ravinement, effet de sape au niveau de la niche par lessivage des fines (renardage), puis à nouveau chute de blocs avec recul du profil d'érosion. La multiplication de ces phénomènes finit par donner les multiples rainures qui y sont observables, signes de l'activité érosive du rempart.

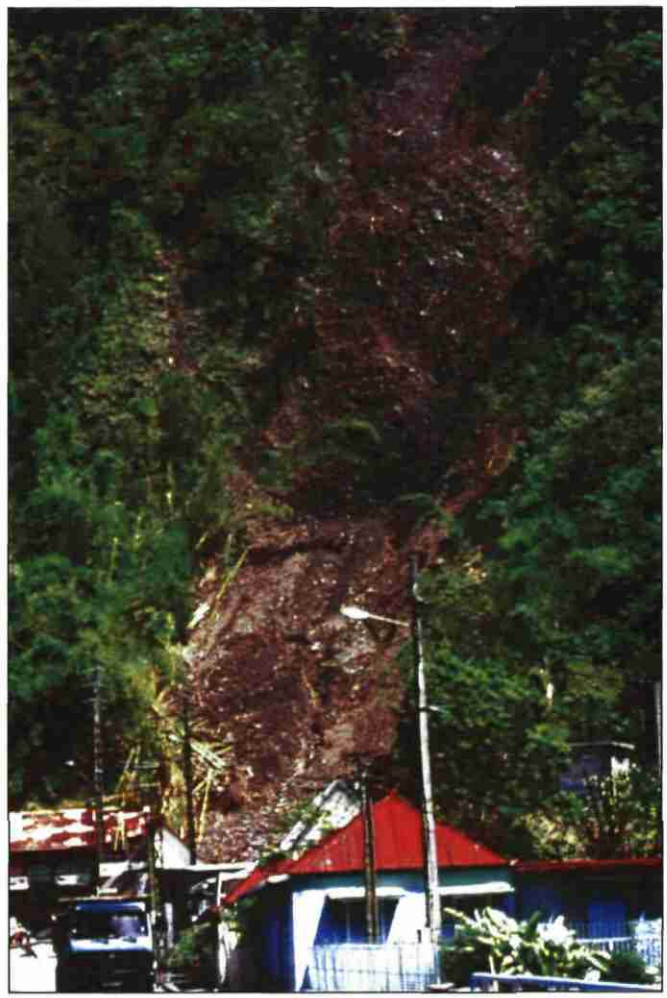


Fig. 22 : Arrachement dans une falaise, village de Salazie

À long terme, la nature et l'altération supergène des roches est un facteur important d'évolution des processus érosifs. Les remparts des cirques et des grandes ravines de La Réunion sont très majoritairement constitués d'empilements de coulées de lave, de nature basaltique, constitués de bancs de roche massive interstratifiés avec des niveaux de scories (toits et bases des coulées). Les basaltes sont des roches qui résistent très bien à l'érosion, mais, une fois mis au contact avec des agents extérieurs, ils s'oxydent, les minéraux s'hydrolysent, et ils perdent leur résistance à l'érosion, en se transformant en altérites et en sols. Les scories sont plus rapidement sujettes à l'altération, du fait de leur forte porosité, mais, dans un rempart, les couches de scories plus altérées et érodées sont "protégées" par les laves compactes qui les surmontent.

Si la plupart des remparts sont le siège d'une activité érosive quasiment continue, mais de faible intensité (chutes de pierres), on y observe parfois des éboulements mobilisant de plus grandes quantités de matériaux, dont l'exemple historique de plus grande ampleur est celui du Bras de Mahavel (affluent de la rivière des Remparts) en 1965, correspondant à une chute de 18 millions de m^3 de matériaux rocheux. Ces grands éboulements correspondent bien à des phénomènes d'érosion, mais ils ont été classés dans la "rubrique" des mouvements de terrain de grande ampleur, et dépassent ainsi le cadre de la présente étude.

Un cas particulier est celui des falaises littorales, où le processus primordial d'érosion est le phénomène de sape à la base de la falaise, par l'action de la houle, qui provoque à terme l'instabilité de celle-ci.

c) Répartition et contrôle

Ces morphologies de remparts correspondent à la totalité des zones de forte pente ; les remparts ne sont pas tous identiques : on trouve, en effet, des morphologies anciennes, fossiles, dont le fonctionnement érosif se serait arrêté il y a 100 000 ans (en relation avec l'eustatisme), ce chiffre restant à confirmer par des études dont le lancement est en cours par le BRGM (projet de recherche sur les mouvements de terrain à La Réunion), et des morphologies actives, dont l'érosion se poursuit à l'heure actuelle.

La lithologie ne semble pas jouer un rôle majeur. Certaines formations géologiques, facilement altérables (océanites anciennes) sont nettement moins résistantes, et les remparts taillés dans ces formations sont le siège de chutes de blocs plus fréquentes (cas de la falaise de la route du littoral). En revanche, les gros éboulements interviennent indifféremment à partir de toutes les lithologies.
L'occurrence des gros éboulements apparaît plutôt comme contrôlée par la disposition relative des couches géologiques et au sein de la falaise. En situation d'"aval pendage" (les couches sont penchées vers l'extérieur de la falaise), les surfaces des bancs (coulées de lave ou intrusions filoniennes : dykes, sills) sont des surfaces de décollement favorisant les glissements et mouvements des masses rocheuses sus-jacentes, les chutes de pierre et surtout les éboulements sont fréquents ; en situation d'"amont pendage" (la pente des couches est opposée à la pente de la paroi), la disposition des couches s'oppose aux glissements en masse et les processus sont peu actifs (chutes de pierres occasionnelles).

On note que, dans le massif de La Montagne, les sommets des remparts sont généralement plus arrondis, comme dans le cas de la falaise littorale ; ceci peut être lié à un contexte lithologique particulier, avec des roches plus anciennes et plus longtemps soumises aux processus d'altérations supergènes, lesquels ont abouti à la formation des horizons latéritiques parmi les mieux développés de l'île, donc plus sensibles à l'érosion.

Le couvert végétal ne joue qu'un rôle limité ; s'il est évident que les zones les plus boisées sont moins sensibles aux processus de chutes de pierres (en particulier, les départs de blocs apparaissent moins fréquents), la végétation des remparts s'avère incapable d'arrêter un bloc une fois qu'il s'est détaché (cf. les nombreux blocs rocheux éboulés du secteur du plateau Wickers, en rive droite de la rivière du Mât, dans le Cirque de Salazie).

La végétation intervient pour limiter l'érosion superficielle, elle limite les départs des petits blocs (quelques dm^3) ; en revanche, à la suite de déracinements d'arbres par leur prise au vent, il peut se créer des niches fragiles favorisant l'érosion, ou, pire encore, la végétation favorisant l'infiltration peut même induire des phénomènes de glissements en masse.

Dans le cas de ce type d'objet (remparts, forts reliefs), la pente est si forte qu'elle oblitère le rôle des autres facteurs érosifs.

d) Évolution prévisible

L'origine des remparts réunionnais reste assez mal connue. On évoque généralement des processus liés à l'évolution volcano-tectonique des deux massifs de l'île (plan de

faiblesse associée à une fracture) ou simplement érosifs (effondrements et chutes de pierres avec recul du profil), mais d'autres hypothèses sont parfois avancées, qu'il serait prématuré d'avancer ici ; elles font l'objet de travaux de recherche.

Quoi qu'il en soit, il apparaît évident qu'il existe des remparts diversement actifs ; on oppose communément les secteurs "stables" (disposition en "amont-pendage" des couches), aux secteurs instables (disposition en "aval-pendage"). Les vitesses de progression des fronts d'érosion (sommets de falaise) sont ainsi très variables, variant entre des remparts pratiquement immobiles et des remparts reculant de plusieurs dizaines de centimètres par an.

Dans les secteurs les plus humides, la concentration du ruissellement, notamment dans des couloirs d'effondrement, peut conduire au développement de ravines parallèles et à une évolution vers des morphologies de type "ravinement parallèle", voire, dans des cas extrêmes, à la formation de mini-cirques (rempart occidental du Cirque de Cilaos, au-dessus d'Ilet à Cordes).

La plupart des remparts de l'Île sont actifs à l'heure actuelle, probablement parce que la forte pente et l'intensité des processus érosifs qui se déroulent dans ces zones font qu'il n'est pas possible d'atteindre une situation stable dans un rempart (la situation stable peut être atteinte quand l'ensemble du rempart se dégrade en surface érodée moins pentue, plus proche de l'angle de stabilité, de l'ordre de 30° pour la plupart des matériaux naturels). Un exemple probable d'ancien rempart est la falaise de l'Étang de Saint-Paul, dont la morphologie fut probablement analogue à celle de la falaise de la route du littoral, mais présente actuellement une morphologie arrondie, avec bien moins de mouvements de terrain associés.

3.1.3. Pentes et vallées

a) Description morphologique

Les vallées de l'Île de La Réunion sont généralement étroites et encaissées (Fig. 23), avec des parois très fortement pentées et un fond étroit, relativement plat, occupé par le lit de la rivière et plusieurs générations successives de terrasses alluviales. Les terrasses les plus anciennes sont souvent, à leur tour, recoupées par la rivière, témoignant de l'enfoncement progressif du cours d'eau dans le substratum.

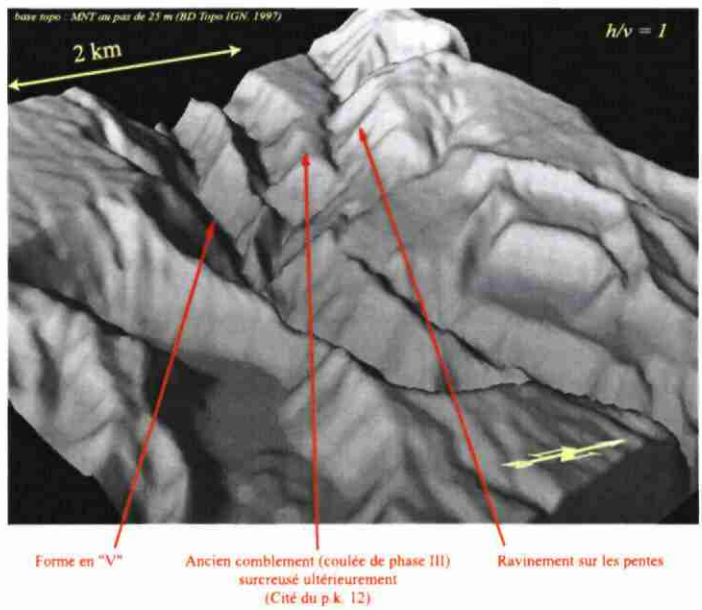


Fig. 23 : Morphologie de vallée : exemple de la rivière des Marsouins

Les représentations de ce type morphologique sont densément et régulièrement réparties sur le territoire (Fig. 27).

Les érosions de pentes se font de la même manière que celles des flancs des vallées : on a donc réservé le terme de pente pour les surfaces érodées pentues modérées où l'on ne pouvait définir de versant de vallée.

Les rebords des vallées les plus importantes ont parfois une morphologie de rempart (Fig. 24), marqué par des striations verticales associées à des ravinements ou des chutes de blocs. Une fois encore, on note un continuum entre les phénomènes et les typologies, les limites cartographiques étant donc interprétatives. On a classé de telles zones en rempart ou vallée selon la dénivelée et la présence ou non d'un versant opposé.



Fig. 24 : Haut de la rivière Saint-Denis : érosion de vallée et de rempart, zone active

b) Phénomènes et processus opérants

Le principal phénomène opérant dans ces secteurs est l'arrachement de matière lié au ruissellement des eaux. Sur le flanc des vallées, il peut s'agir d'un ruissellement relativement diffus, se concentrant dans des petits thalwegs qui s'exagèrent progressivement, mais il s'agit aussi d'érosion plus diffuse, essentiellement contrôlée par la pente. Au fond de la vallée, c'est le cours d'eau principal qui arrache de la matière au substrat (Fig. 25), selon différentes modalités d'érosion torrentielle :

- ruissellement et arrachement par le courant ;
- arrachement sous l'effet des chocs créés par des matériaux solides (dont la taille varie de quelques microns à plusieurs dizaines de m^3) transportées dans le courant (Fig. 26). Ainsi, on rapporte que le lit de la rivière du Bras Rouge, dans le Cirque de Cilaos, a été creusé d'une dizaine de mètres en quelques jours en 1985, à l'occasion d'une succession de laves torrentielles ;
- effondrement des berges, sapées à la base par le courant. Les produits d'effondrement sont alors, soit immédiatement emportés (faibles volumes), soit peuvent créer un barrage dont le démantèlement ultérieur est susceptible de créer des débâcles (cas de l'effondrement de 1985 dans la rivière du Bras Rouge et des laves torrentielles mentionnées plus haut, ou du démantèlement des débris du barrage naturel de Mahavel en 1965).

Les phénomènes mis en oeuvre pour donner une morphologie de vallée sont donc fort divers et interagissent les uns avec les autres : érosion des rives provoquant des barrages du lit du cours d'eau, sape par l'érosion de berge qui conduit à une érosion régressive remontant la pente, etc.



Fig. 25 : Exemple d'érosion de berge



Fig. 26 : Transport turbide de particules terrigènes fines dans un cours d'eau

Ces phénomènes sont similaires pour une échelle réduite *n* pour un temps à l'échelle humaine *t*, et pour une large échelle *N* durant un temps géologique *T*. Ainsi, on peut citer les exemples suivants d'embâcle-débâcle : "petit" bouchage récent du Bras de Mahavel en 1965 et grand bouchage de la rivière des Galets, intervenu il y a 100 000 ans (Raunet, 1991).

c) Répartition et contrôle

Le modelé du terrain et la perméabilité du substratum sont les paramètres qui contrôlent principalement le tracé et l'intensité des écoulements d'eaux superficielles. Ces écoulements provoquent l'érosion, et la lithologie influe notablement sur l'amplitude du phénomène (Fig. 28). Les structures du sous-sol telles que failles, zones fracturées, zones d'intrusions filoniennes de lave, guident l'érosion et contraignent le tracé du réseau hydrographique.

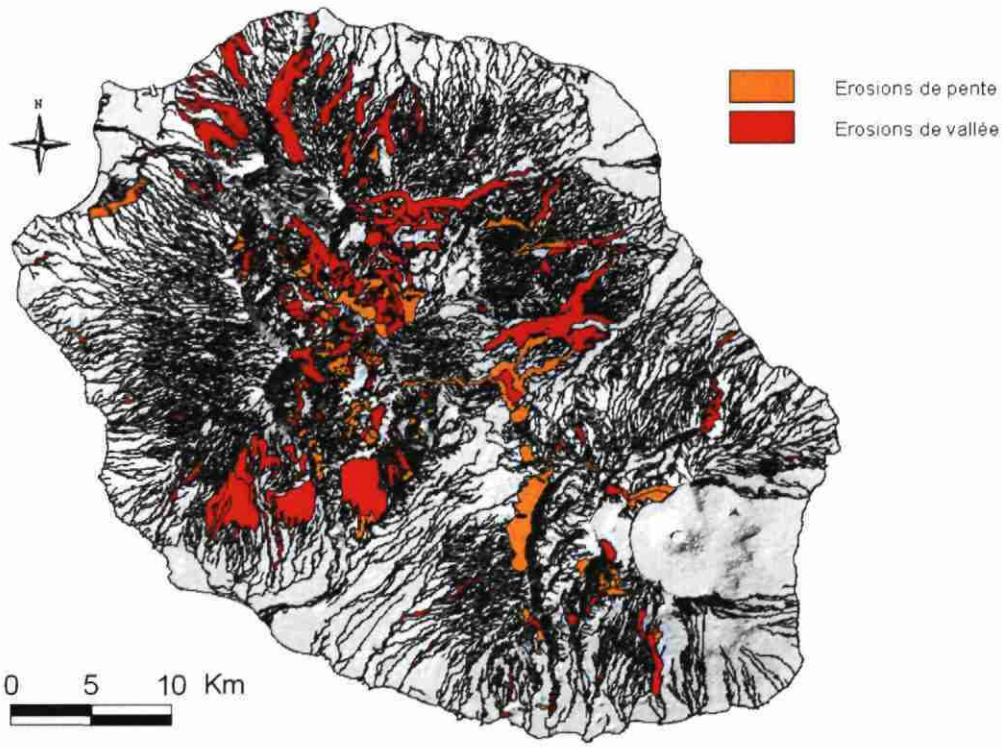


Fig. 27 : Répartition des morphologies d'érosion de pentes et de vallées

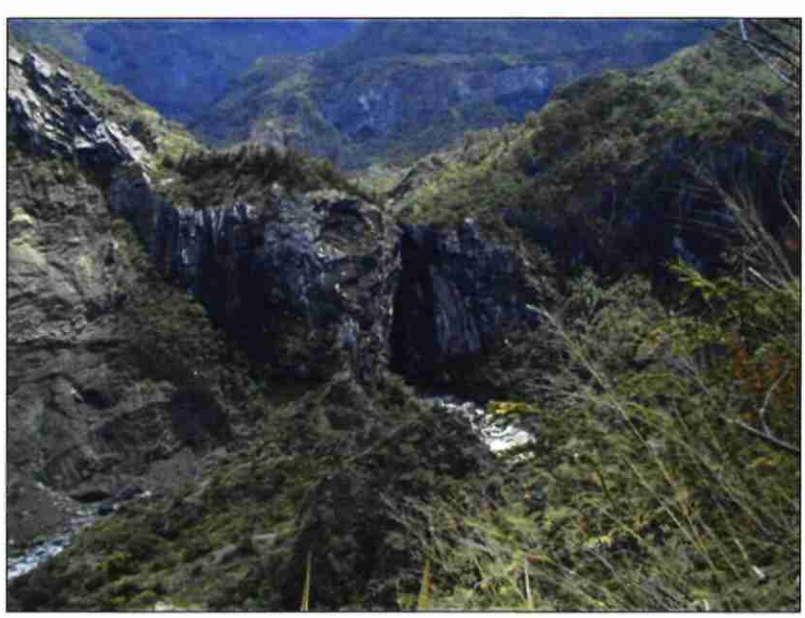


Fig. 28 : Érosion de vallée conditionnée par la lithologie, La Chapelle, Cirque de Cilaos

d) Évolution prévisible

Toutes les vallées de La Réunion présentent des phénomènes d'érosion dite régressive : la tête de la vallée, sous l'action de l'érosion, recule peu à peu. En même temps, la vallée s'approfondit et souvent s'élargit. À terme, les vallées peuvent arriver à recouper toute autre morphologie et à la détruire.

La majorité des cours d'eau réunionnais n'a pas atteint de profil d'équilibre. Ils sont en creusement sur la quasi totalité de leurs parcours (sauf les petits cônes alluviaux et les segments dans les plaines côtières). Leur enfoncement va, à l'évidence, se poursuivre.

Au cours de leur enfoncement, les rivières s'encaissent entre des parois de plus en plus hautes qui évoluent souvent en remparts comme décrits plus haut. En fait, on observe un continuum d'évolution entre les vallées encaissées et les remparts.

Selon la lithologie en présence, les vallées sont susceptibles d'évoluer à long terme soit en ravinements parallèles (type "Entre Deux"), soit convergent en vallées profondes et étroites (rivière des Remparts, rivière St Denis). Pour un modelé similaire, ce sont la lithologie et la perméabilité du substratum qui contrôlent cette évolution.

3.1.4. Ravinements parallèles, pseudo bad-lands.

a) Description morphologique

Certains secteurs de l'Île (l'Entre-Deux, les alentours de Grand Étang) apparaissent comme une mosaïque de vallées et de pentes ravinées. La totalité des territoires concernés est soumise à des phénomènes érosifs de type "vallée". L'allure de ces secteurs est donc, à une échelle différente, très similaire à celle des bad-lands visibles à l'échelle de l'affleurement (zones à ravinements concentrés coalescents) : ce sont en fait des sortes de bad-lands de plus grande dimension (Fig. 29), avec une allure générale plus "molle". Pour cette raison, nous proposons le terme de "pseudo bad-lands" pour désigner ces morphologies.

Les zones concernées (Fig. 30) sont intégralement couvertes de végétation (souvent dense : forêt de bois de couleurs, par exemple) (Fig. 31)Fig. 24.

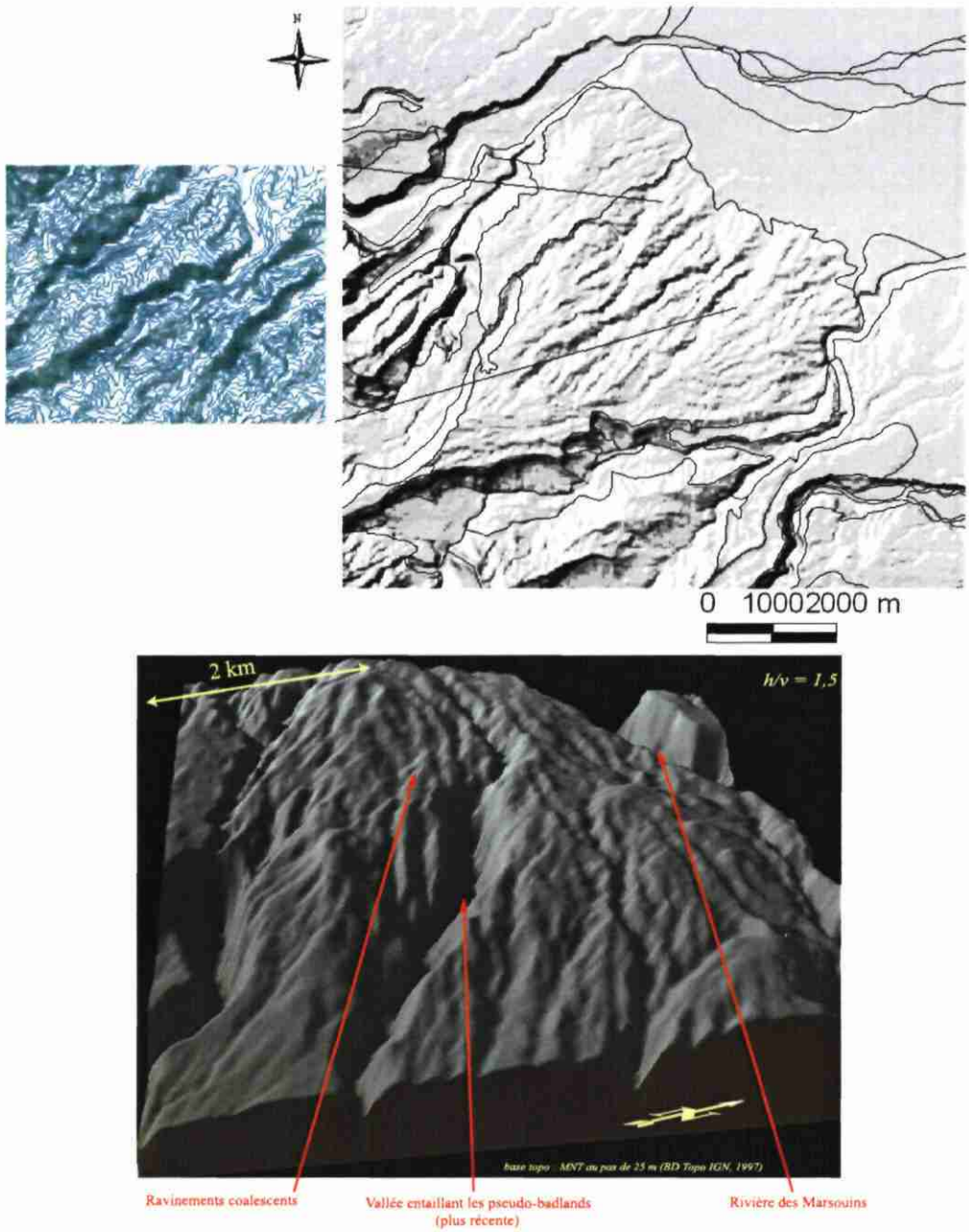


Fig. 29 : Exemple de modelé typique de pseudo bad-lands : massif du Cratère, en rive droite de la rivière des Marsouins

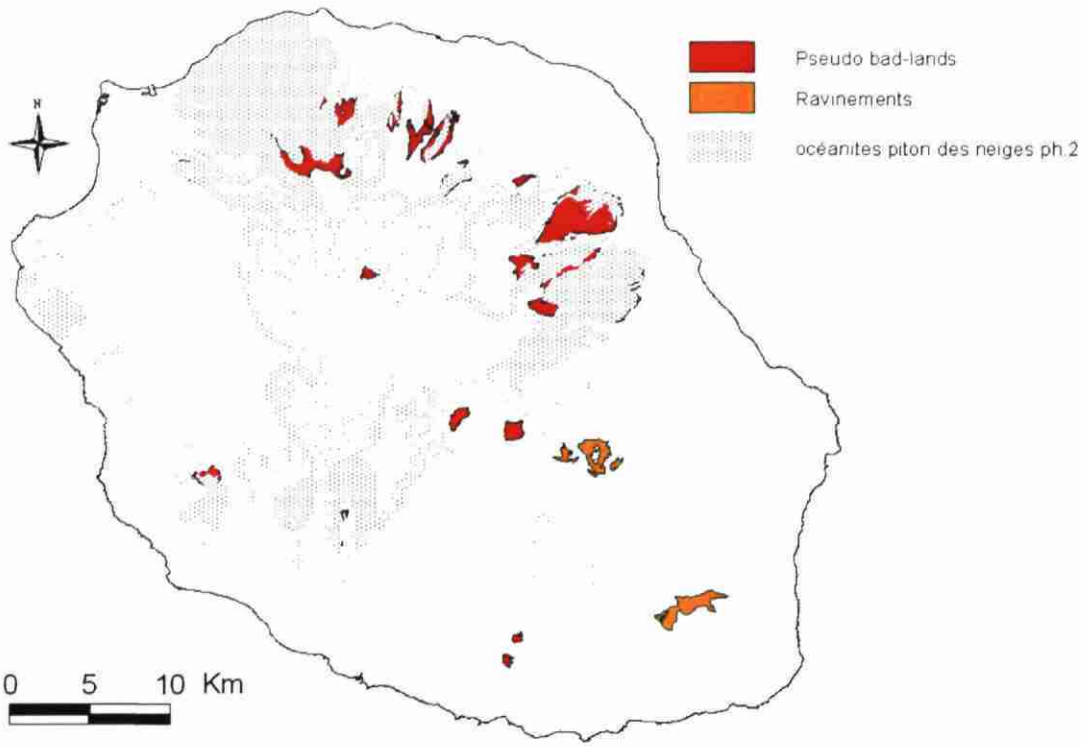


Fig. 30 : Répartition des morphologies d'érosion de ravinements et pseudo bad-lands

b) Phénomènes et processus opérants

Ces zones d'érosion particulières restent assez énigmatiques quant à leur mode de formation. L'allure des versants et les vallées "en V" indiquent clairement la prédominance de phénomènes liés au ruissellement et à l'altération supergène des roches du substratum. Mais tout indique que ces processus n'ont pas été poursuivis jusqu'à leur terme, dans la mesure où aucune vallée ne prédomine sur les autres, et où on n'observe pas d'encaissement des cours d'eau.

Il semble donc que l'on ait affaire à des phénomènes de ruissellement relativement diffus sur des pentes imperméables constituées de matériaux facilement altérables, qui ont développé de nombreux petits chenaux ; l'évolution de ce processus a alors été bloquée pour une raison inconnue (changement climatique impliquant une colonisation végétale ?) et le modelé de terrain observé est essentiellement une morphologie fossile.
Les phénomènes d'érosion actuels dans ces zones correspondent à un creusement minime des vallées existantes.

c) Répartition et contrôle

Les régions de "pseudo bad-lands" sont clairement inféodées à une lithologie particulière, les "océanites de phase II" (Fig. 30) mentionnées sur la carte géologique au 1/50 000 (Billard, 1974). Ceci est probablement du à l'altérabilité particulière de ces laves très riches en olivine : l'olivine, minéral silicaté ferro-magnésien, s'altère facilement (surtout en conditions climatiques tropicales), en un ensemble de minéraux secondaires argileux (phénomène d'"iddingsitation"). Les océanites présentent donc une sensibilité toute particulière aux phénomènes d'altération.

d) Évolution prévisible

Comme décrit plus haut, les pseudo bad-lands résultent probablement du blocage d'une situation de ruissellement sur des pentes. On peut donc penser qu'aussi longtemps que le ruissellement reste bloqué, la situation n'évoluera que très peu. En revanche, il est très probable qu'un défrichement ou un aménagement incontrôlé de ces régions pourrait entraîner une reprise d'érosion catastrophique, un creusement de tous les lits de cours d'eau, et une évolution à court terme vers des systèmes très actifs (type "érosion active").



Fig. 31 : Morphologie de pseudo bad-lands : exemple de la plaine d'Affouches, sud de Saint-Denis

3.1.5. Planèzes, larges surfaces planes régulières

a) Description morphologique

Les planèzes correspondent aux surfaces généralement en pente douce, sur les pentes externes des deux massifs volcaniques de l'Île (Fig. 32 et Fig. 33). En terme d'occupation des sols, ces régions peuvent être soit mises en culture (cf. paragraphe 3.3), soit des forêts, soit encore des zones urbaines ou semi-urbaines, ou des friches et savanes. Les processus qui s'y déroulent ne sont que rarement visibles à l'échelle de la photographie aérienne ; il s'agit principalement de phénomènes liés à l'exploitation agricole (cf. paragraphe 3.3).

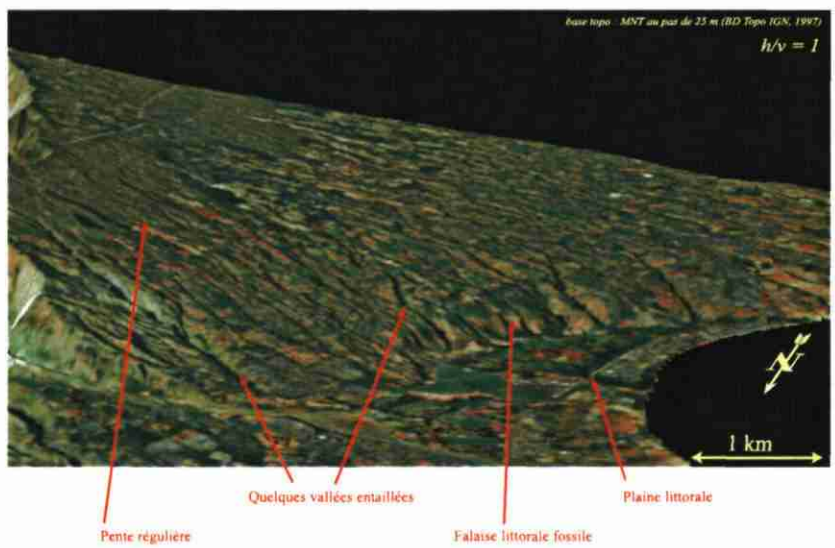


Fig. 32 : Morphologie de planèze : exemple des planèzes de l'ouest au dessus de Saint-Paul

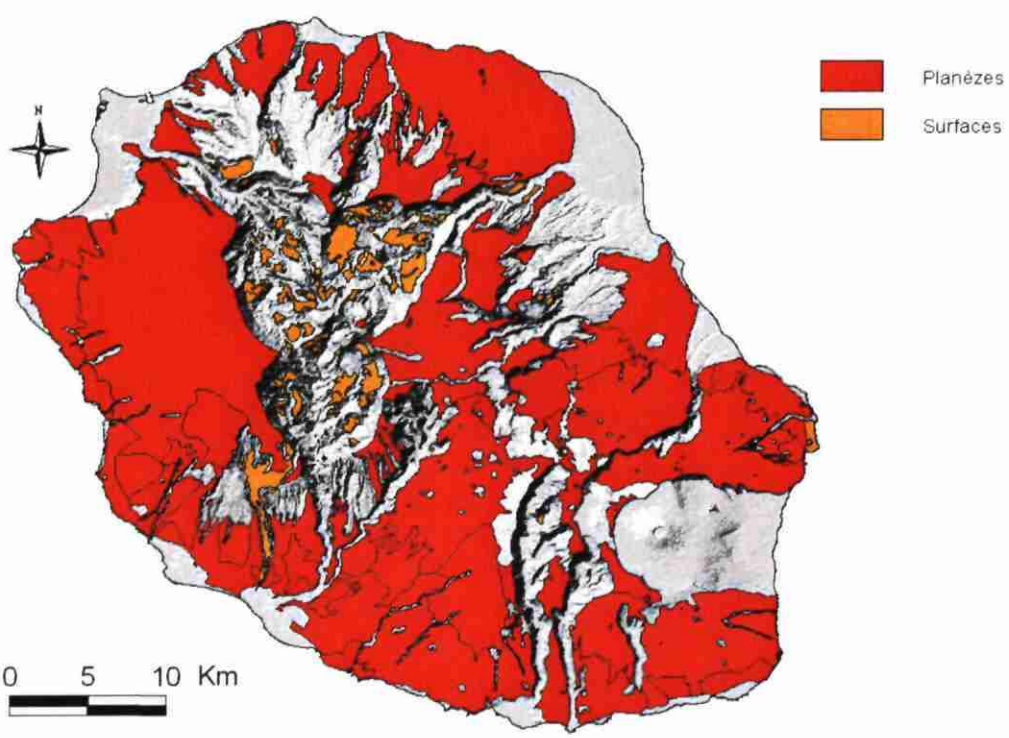


Fig. 33 : Répartition des morphologies de planèzes

Ces surfaces pentées sont parfois entaillées de ravines plus ou moins profondes, qui résultent de processus d'érosion de vallée (cf. paragraphe 3.1.3) ; les plus importantes de ces ravines ont été individualisées lors de la digitalisation par des zones de type "vallée", tandis que les moins grandes ont été reconnues par l'analyse du MNT.

b) Phénomènes et processus opérants

À l'exception des creusements de vallées, les phénomènes se déroulant sur ces régions n'affectent que les couches superficielles du sol et n'ont pas créé de morphologies repérables à l'échelle du paysage. Il s'agit en effet d'ablations des sols, en nappes ou en ravinements localisés (voir paragraphe 3.3).

c) Répartition et contrôle

Ces morphologies s'observent sur les grands nappages de coulées de lave des pentes externes des deux massifs volcaniques. Elles sont absentes à la surface des formations bréchiques détritiques ou volcaniques de l'intérieur des terres (cirques, grandes vallées), et rares à la surface des formations de la série des océanites anciennes, altérées. Naturellement, elles correspondent uniquement à des secteurs de pente faible (< 25 %)

d) Évolution prévisible

Bien que n'évoluant pas par elles-mêmes, les planèzes sont soumises à des processus d'érosion régressive par les vallées qui les entaillent et qui peuvent en réduire la superficie progressivement. Des vallées coalescentes se développant au détriment de la planèze s'observent notamment dans la région des Makes.

3.1.6. Ilets

a) Description morphologique et sur photographies aériennes

Les ilets sont des plateaux, situés généralement dans les vallées larges ou dans les cirques. Leur dimension varie de quelques centaines de mètres carrés à plusieurs kilomètres carrés. Ils présentent une surface relativement plane, parfois accidentée ou avec des ruptures de pentes internes, et sont entourés de pentes raides, fréquemment soumises à des phénomènes d'érosion active.

On distingue généralement les "ilets banquette", adossés à un rempart (Fig. 34), des "ilets plateau", isolés. Les premiers sont dominés par un rempart (et sont donc exposés à des éboulements et des chutes de pierre) ; ils sont généralement moins menacés par l'érosion active et les mouvements de terrain que les seconds, qui présentent une plus grande longueur de "rebords" vulnérables. Ces rebords correspondent d'ailleurs souvent aux fronts d'érosion active mentionnés plus haut (cf. paragraphe 3.1.1).

b) Phénomènes et processus opérants

- **À la surface des ilets**

La surface des ilets est marquée par assez peu de phénomènes érosifs naturels ; en revanche, les effets de l'agriculture y sont importants : érosion en nappes ou en rigoles (voir paragraphe 3.3).

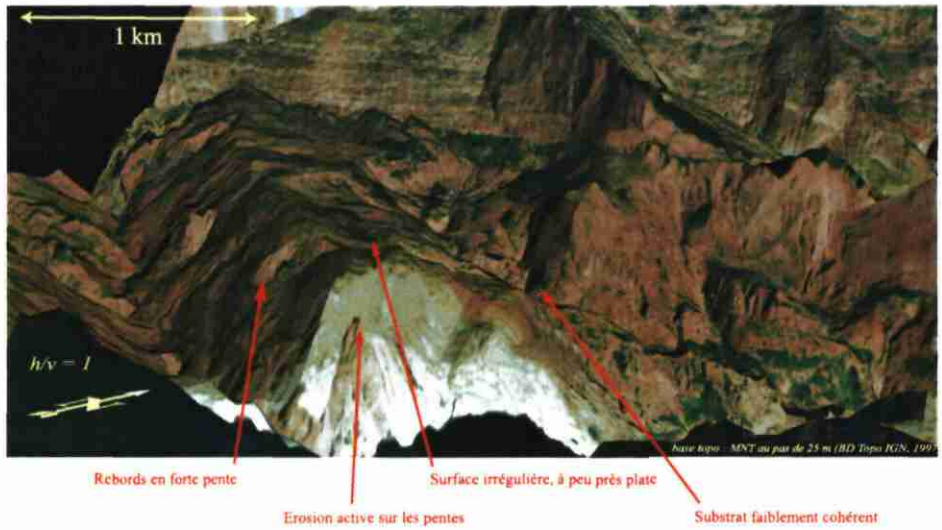


Fig. 34 : Morphologie d'ilet banquette : exemple de Roche Plate (Cirque de Mafate)

- **Sur les pentes externes des ilets**

Les pentes externes des ilets sont le siège de phénomènes érosifs importants : érosion de pente liée au ruissellement des eaux, et érosion active avec terrains mis à nu. Les ilets sont parfois entourés de bad-lands, notamment dans les parties sèches de l'Île (exemples : Ilet à Cordes, Cilaos bourg).

- **Phénomènes de grande ampleur**

Les phénomènes les plus spectaculaires affectant les ilets sont heureusement assez rares et liés à des conditions climatiques exceptionnelles ; il s'agit de glissements de grande ampleur, emportant tout un pan du plateau (Fig. 35). Ces phénomènes se déroulent surtout lors des périodes de pluies intenses et prolongées, associées aux passages des cyclones et dépressions tropicales. Ainsi, lors du passage de la dépression tropicale Hyacinthe en 1980, les rebords de l'ilet de Cilaos et de Grand Ilet, dans le Cirque de Salazie, se sont effondrés en plusieurs endroits.



Fig. 35 : Bras des Étangs : bordure d'ilet soumise à une érosion active, associée à des glissements de terrain

c) Répartition et contrôle

Les ilets sont localisés dans les cirques (ou dans les plus grandes des vallées du massif du Piton des Neiges), sur les terrains de démantèlement de l'édifice volcanique.

d) Évolution prévisible

À l'échelle géologique, il est évident que les ilets sont voués à la disparition, sous l'effet des divers phénomènes érosifs qui les affectent. Le stade ultime d'érosion de La Réunion sera sans doute une morphologie voisine de celle de l'Ile Maurice, avec des plateaux ondulés et des reliefs résiduels couvrant le centre de l'île. À plus courte échéance, la morphologie des parcelles en rebord d'ilet évolue pratiquement d'année en année.

3.1.7. Érosions côtières

a) Description morphologique et sur photographies aériennes

Trois types de morphologies littorales principales se rencontrent à La Réunion : des falaises côtières, des plages sableuses (sables récifaux ou sables terrigènes), et des plages à galets.

Un certain nombre de surfaces basses cantonnées au littoral a été individualisé lors de la cartographie.

b) Répartition et contrôle

Les mécanismes d'évolution du littoral sont conditionnés par la nature des formations géologiques. Les côtes réunionnaises sont, soit de type rocheux (essentiellement sur la façade sud-est de l'Île), soit de type alluvionnaire (galets, sables) au débouché des grandes ravines.

c) Phénomènes et processus opérants

Le facteur hydrodynamique le plus important qui agit sur le façonnement des côtes correspond à la houle. Les houles (ainsi que les courants qui leur sont associés) sont responsables des processus de transit sédimentaire. La Réunion est intéressée par trois grands types de houles : les houles d'alizés dont le déplacement se fait de l'est-nord-est au sud-est, vers le nord-ouest à l'ouest-sud-ouest, les houles australes qui parviennent du sud-ouest et les houles cycloniques très destructrices en saison chaude.

L'action de la houle sur une côte rocheuse a pour conséquence un sapement du pied des falaises et l'effondrement de pans rocheux. Cette régression est lente et difficilement perceptible à l'échelle humaine. Des vestiges de cette érosion littorale sont encore visible à la Caverne des Hirondelles à Saint-Joseph où l'on observe un chaos rocheux au pied de la falaise littorale. Cette dernière est aujourd'hui séparée de la mer par un cordon littoral et des remblais.

Lorsque le littoral est constitué d'alluvions (galets et/ou sables), il subit des modifications plus rapides. Les houles sont responsables du transport des sédiments :

- perpendiculairement à la ligne de rivage : en période de beau temps, il se forme des accumulations en haut de plage (engraissement), tandis qu'en période de mauvais temps, l'entraînement des sédiments, sous l'action de vagues plus hautes et plus cambrées, se fait plutôt vers le large avec une érosion de la plage ;
- parallèlement à la ligne de rivage (dérive littorale).

Sur une grande partie du littoral réunionnais, on rencontre un cordon de galets littoraux qui joue en quelque sorte un rôle de tampon entre la mer et la terre.

d) Évolution prévisible

Les évolutions du trait de côte ont été récemment (1999-2001) étudiées par le BRGM, au niveau des trois grands cônes alluvionnaires du massif du Piton des Neiges (plaines de la rivière des Galets, de la rivière Saint-Étienne et de la rivière du Mât). Les résultats de ces études montrent que l'on assiste à une relative stabilité voire à un recul généralisé des plages.

3.1.8. Érosions spécifiques au volcanisme récent ou actif

a) Description morphologique et sur photographies aériennes

Le territoire réunionnais est presque exclusivement constitué de terrains volcaniques et de leurs produits d'altération et érosion. Les comportements de ces roches, d'origine primaire ou secondaire, vis-à-vis de l'érosion sont radicalement différents, selon les cas : en effet, sur les formations les plus anciennes, comme celles du massif du Piton des Neiges, dans les cas les moins érodés (planèzes), on reconnaît encore les morphologies typiques du volcanisme (coulées de lave, cônes de scories, dépôts pyroclastiques,...) ; mais, dans les cirques, où l'érosion a été particulièrement importante, les morphologies volcaniques superficielles d'origine ont disparu ou sont presque totalement tronquées.

Pour les formations bien plus récentes du massif du Piton de la Fournaise, et en particulier dans la zone de l'Enclos, le cas est différent.



Fig. 36 : Exemples de cônes de scories dans la plaine des Cafres

On y observe des morphologies totalement différentes entre les zones de coulées de lave historiques (dans et hors Enclos) et les formations géologiques plus anciennes (hors Enclos, exception faite du Piton de Crac). Le contraste est saisissant entre ces deux familles de morphologies : alors qu'en dehors de l'Enclos, les morphologies sont très similaires à celles des planèzes du massif du Piton des Neiges, dans l'Enclos, les morphologies volcaniques sont intactes, non entamées par l'érosion, et l'on reconnaît sans peine coulées de lave et cônes stromboliens.

Les cônes de scories et les zones couvertes de projections (cendres, lapilli et blocs), généralement scoriacées, ont un comportement particulier vis-à-vis de l'érosion, aussi ont-ils été individualisés.

Il s'agit de petits monticules, de quelques dizaines à quelques centaines de mètres de hauteur et de diamètre, le plus souvent boisés (Fig. 36).

Au coeur du massif de La Fournaise (plaine des Sables, Foc Foc,...), il existe de grandes zones couvertes de scories. Certaines d'entre elles apparaissent parcourues par un réseau de petits cours d'eau peu encaissés, qui semblent avoir déblayé la couche superficielle de scories et s'écouler désormais sur les coulées de lave sous-jacentes.

La plaine des Sables fait également exception, un tel exemple de paysage monotone à recouvrement de produits de projections volcaniques, non érodés, est unique sur l'île.

b) Répartition et contrôle

Ces morphologies différentes du reste de l'île concernent les coulées de lave et les cônes volcaniques les plus récents, situés dans ou hors Enclos.

Les comportements de ces roches vis-à-vis de l'érosion sont radicalement différents, selon leur degré d'altération, c'est-à-dire en fonction de leur âge : c'est donc la jeunesse des roches qui est là le facteur principal de l'état d'érosion.

Dans ce cas, dans les secteurs de forte production volcanique (l'Enclos, dont la surface se renouvelle sans cesse par l'émission de nouvelles coulées de lave), les processus de construction géologique l'emportent sur les processus de destruction : la production de lave y est plus importante que son érosion. Les processus d'érosion y sont donc singulièrement absents.

Il existe un rapport de force et de vitesse entre les phénomènes : le volcanisme l'emporte ici sur l'érosion. On peut citer, *a contrario*, l'exemple de l'érosion côtière dont les effets érosifs sont très rapides : par exemple, à la pointe de la Table, les coulées de lave de 1986 sont largement entamées par l'érosion marine.

c) Phénomènes et processus opérants

Dans les zones actives du massif du Piton de la Fournaise, par la jeunesse des formations géologiques de couverture, on a, du moins pour le moment, absence d'altérations supergènes, absence de pédogenèse et faible recouvrement végétal. Cela se traduit, entre autres, par une forte perméabilité en surface, de par l'absence d'argilisation des roches. En conséquence, les eaux superficielles ruissellent peu, s'infiltrent en majorité, et leurs effets érosifs sont pratiquement nuls.

Sur le terrain, rares sont les traces visibles d'érosion : les plus anciens gratons s'érodent en nappe après s'être fragmentés, on note quelques petites rigoles, mais relativement peu, et les morphologies en creux correspondent le plus souvent à des limites entre des coulées de lave ; celles-ci sont vouées à canaliser les coulées de lave futures qui les combleront.

On touche là du doigt un facteur essentiel de l'érosion, qui est l'altération supergène. En l'absence de cette dernière, l'érosion est considérablement ralentie. En fait, le front des processus d'altération chimique précède de peu le front des érosions, dans le cas des érosions les plus vives.

Bien que formés principalement de dépôts scoriacés très peu cohérents, la plupart des cônes stromboliens du massif du Piton de la Fournaise sont boisés et donc protégés de l'érosion. Cependant, ceux des cônes de scories qui sont peu couverts (soit qu'ils soient récents, soit qu'ils soient situés à haute altitude) sont soumis à une érosion par ruissellement ou simplement par tassement des matériaux et solifluxion.
Par ailleurs, l'érosion anthropique entame souvent ces édifices, sous forme de cultures à la base des cônes, et d'ouverture de carrières de "pouzzolane".

d) Évolution prévisible

Dans les endroits où l'activité volcanique ne perdurera pas, l'altération supergène pourra s'exprimer, avec formation des horizons d'altération tropicale classiques (saprolite, argiles tachetées, éventuellement cuirasses), et constituer un sol argileux (altérites) sur lequel s'implanteront des végétaux, lesquels contribueront à la formation des couches superficielles du sol, qui, en étant plus perméable, autorisera le ruissellement des eaux pluviales, ce qui provoquera, à moyen terme, son érosion.
Là où l'activité volcanique se poursuivra, les processus d'altération supergène auront à peine le temps de se développer que de nouveaux dépôts volcaniques les recouvriront ; les zones concernées ne seront donc pas soumises à l'érosion tant que le volcanisme restera suffisamment actif.

Dans les conditions climatiques "agressives" de La Réunion, les cônes de scories sont naturellement détruits en un court laps de temps, à l'échelle des temps géologiques (ce qui explique leur présence surtout restreinte au massif du Piton de la Fournaise). À l'échelle humaine, leur érosion est continue mais lente ; en l'absence de pédogenèse, la grande perméabilité des matériaux qui les constituent fait que le ruissellement ne peut que difficilement prendre des proportions catastrophiques.

3.1.9. Terrasses et alluvions, zones d'accumulations détritiques

a) Description morphologique et sur photographies aériennes

Deux grandes familles de dépôts peuvent être différenciées, qui ont été produites par des processus similaires et avec des produits identiques, mais d'aspects contrastés : les alluvions récentes et les alluvions anciennes (Fig. 37). Le terme d'alluvionnement est ici pris dans son sens le plus large, puisqu'on inclut tous les produits de dépôt, comprenant, outre les alluvions fluviatiles, les coulées boueuses, laves torrentielles et autres accumulations détritiques : tous ces dépôts ont une signature géomorphologique similaire.

- **Les alluvions récentes ou actuelles**

Il s'agit de zones de sables, de graviers et de blocs arrondis par l'érosion fluviatile (pouvant atteindre un volume de plusieurs m^3), le long des rivières importantes. Ces zones à peu près plates sont parcourues par des bras temporaires ou pérennes de rivière, ou des flaques isolées. Ce sont des secteurs inondés, au moins en saison des pluies. Leur aspect et leur morphologie peut changer très vite, suite à une crue importante par exemple.

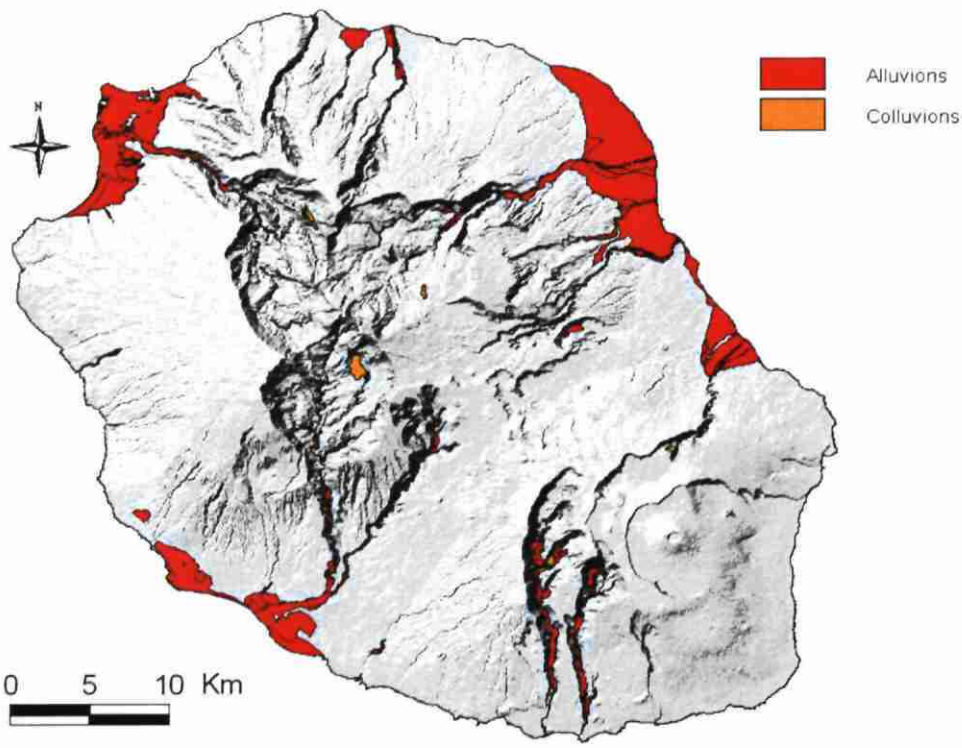


Fig. 37 : Répartition des zones d'accumulations détritiques : alluvions et colluvions

- **Les alluvions anciennes**

Qu'il s'agisse de grandes plaines d'épandage aux embouchures des rivières principales (Fig. 38), ou de petits lambeaux de terrasse perchées au dessus des rivières, il s'agit de zones plates, couvertes de végétation et souvent cultivées, voire habitées. Ces régions sont formées des mêmes matériaux que les alluvions actuelles.



Fig. 38 : Exemple de cône alluvial avec réseau en tresses, rivière de l'Est

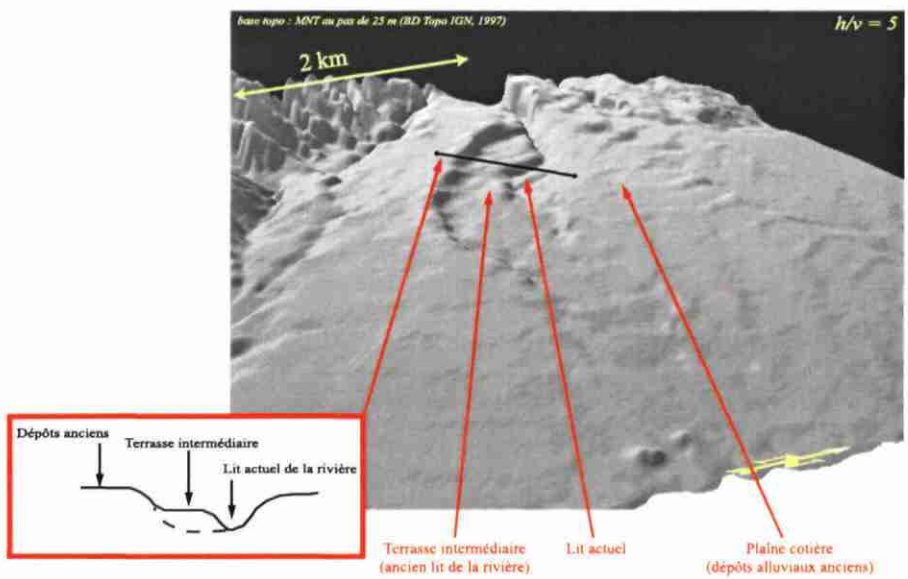


Fig. 39 : Exemple de terrasses alluviales : la rivière du Mât près de Saint-André

b) Phénomènes et processus opérants

Les alluvions sont des dépôts de matériaux transportés par les rivières. Il s'agit donc de zones d'accumulation de produits de l'érosion. Les alluvions actuelles sont très mobiles, remises en mouvement à chaque crue (Fig. 40). Les phénomènes érosifs *sensu stricto* sont les érosions de berges, par sape.



Fig. 40 : Alluvions actuelles dans la rivière des Pluies

Les cônes alluviaux et plaines d'épandage se trouvent aux embouchures des principales rivières de l'Île. Il s'agit d'un empilement d'alluvions, d'une mosaïque de lits comblés d'anciennes rivières. Ces zones sont souvent, à leur tour, affectées par des phénomènes érosifs, de la même manière que ce qui s'observe sur les planèzes.

Enfin, les terrasses correspondent à des alluvions plus anciennes, témoignant d'un paléo-lit de rivière. Elles se trouvent à des altitudes pouvant atteindre quelques centaines de mètres au-dessus du lit actuel (Ilet Grand, Cilaos), ce qui indique un creusement important du lit du cours d'eau depuis leur mise en place. Parfois, plusieurs terrasses superposées (rivière du Mât, Fig. 39) matérialisent plusieurs étapes de creusement. Les terrasses, elles-mêmes, sont souvent soumises à une érosion importante sur leurs pentes (creusement par le cours d'eau majeur).

c) Répartition et contrôle

Ces formations se trouvent dans les lits des rivières, et à leurs débouchés en mer où elles forment de vastes cônes alluviaux deltaïques.

d) Évolution prévisible

Les formations alluvionnaires sont très éphémères à l'échelle géologique, et restent vulnérables à l'échelle humaine. Les alluvions actives sont régulièrement remises en mouvement par les crues ; les terrasses les plus basses peuvent être démantelées à l'occasion de crues catastrophiques.

En revanche, une production continue d'alluvions par les phénomènes érosifs des zones en amont renouvelle en permanence les zones d'alluvionnement actif.

Les grandes plaines alluviales évoluent relativement moins rapidement, dans la mesure où il s'agit de zones planes, proches du niveau de la mer donc peu entamées par les rivières. Elles sont aussi couvertes de végétation, ce qui contribue à les stabiliser. Néanmoins, à moyen et long termes, leur évolution reste assez rapide. Ainsi, le trait de côte du cône alluvial de la rivière Saint-Étienne (Saint-Louis) s'est déplacé de plusieurs mètres au cours du dernier demi-siècle (Aubié *et al.*, 2001).

Quelques zones sont plus marquées par des accumulations de matériaux, que par des ablations de matière :

- zones d'alluvionnement, décrites plus haut ;
- une zone de sables dunaires, d'origine éolienne, au sud-est de Saint-Leu ;
- des zones à éboulis : accumulation de produits d'éboulement terrigènes et/ou rocheux. Les zones d'éboulis ont souvent une morphologie typique en cône plaqué contre la paroi, alimenté par des "couloirs d'avalanche" (qui sont le plus souvent des zones d'érosion active) à leur aplomb. Les cônes d'éboulis, normalement très répandus en zones montagneuses, sont très rares à La Réunion, sans doute en raison de l'intense érosion qui les élimine rapidement.

3.2. Érosion anthropique non agricole

3.2.1. Description morphologique

Carrières, routes, aménagements et autres ouvrages d'origine humaine, ont pour conséquences, soit une érosion directe du sol (par mise à nu), soit des érosions induites (talus de bords de routes et chemins). Ces formes d'érosion ne sont que très rarement cartographiables ; elles ont souvent des étendues réduites. Du sol, elles ont néanmoins un impact visuel fort, du fait de leur exposition au regard, le long des voies de communication (Fig. 41).



Fig. 41 : Érosion en bord de chemin, zone du Colorado, massif de la Montagne

3.2.2. Phénomènes et processus opérants

On doit là faire la différence entre l'érosion anthropique *sensu stricto*, où l'ablation de matière s'est faite de manière intentionnelle par l'Homme, et les érosions postérieures à des aménagements, mais néanmoins directement induites par ces derniers. Ainsi, on peut distinguer :

- les érosions *in situ* ;
- les phénomènes régressifs se propageant en amont ;
- les phénomènes de ravinement avec dépôt en aval ;
- les conséquences des modifications d'écoulements superficiels en aval.

Les exemples d'érosions causées par les aménagements sont multiples.

Les carrières et zones d'extraction de matériaux (carrières entaillées dans des cônes de scories, extractions de terre végétale pour commercialisation, "grattages" non contrôlés, extractions d'alluvions dans les lits de rivière pour concassage de granulats) sont, à l'évidence, des zones de départ de matière par enlèvement direct d'origine humaine. Par la suite, il n'y a pas ou peu d'érosion induite, les carrières étant réaménagées, ou se

comblant naturellement en une sorte de mini-bassin endoréique, le système érosif étant là fermé, et arrivant à terme à stabilité.

Il en va de même pour les talus de routes et chemins, ou l'action mécanisée lors du tracé de la route a ôté de la matière. Par la suite, des processus naturels prennent le pas sur ces cicatrices, et se développent différents cas d'érosion : en nappes, en rigoles, par chutes de fragments. Dans les cas de voies de communication non revêtues, l'érosion causée par la circulation se combine au ravinement des eaux de ruissellement pour creuser les chemins, aboutissant aux chemins ravinés (Fig. 42) et aux "chemins creux". C'est ainsi le cas pour les pistes empruntées fréquemment par des engins agricoles, des véhicules tout-terrain (4x4, motos, vélos...), des chevaux, et également pour les sentiers de randonnée, où les pas des marcheurs contribuent à l'érosion et au creusement des chemins.

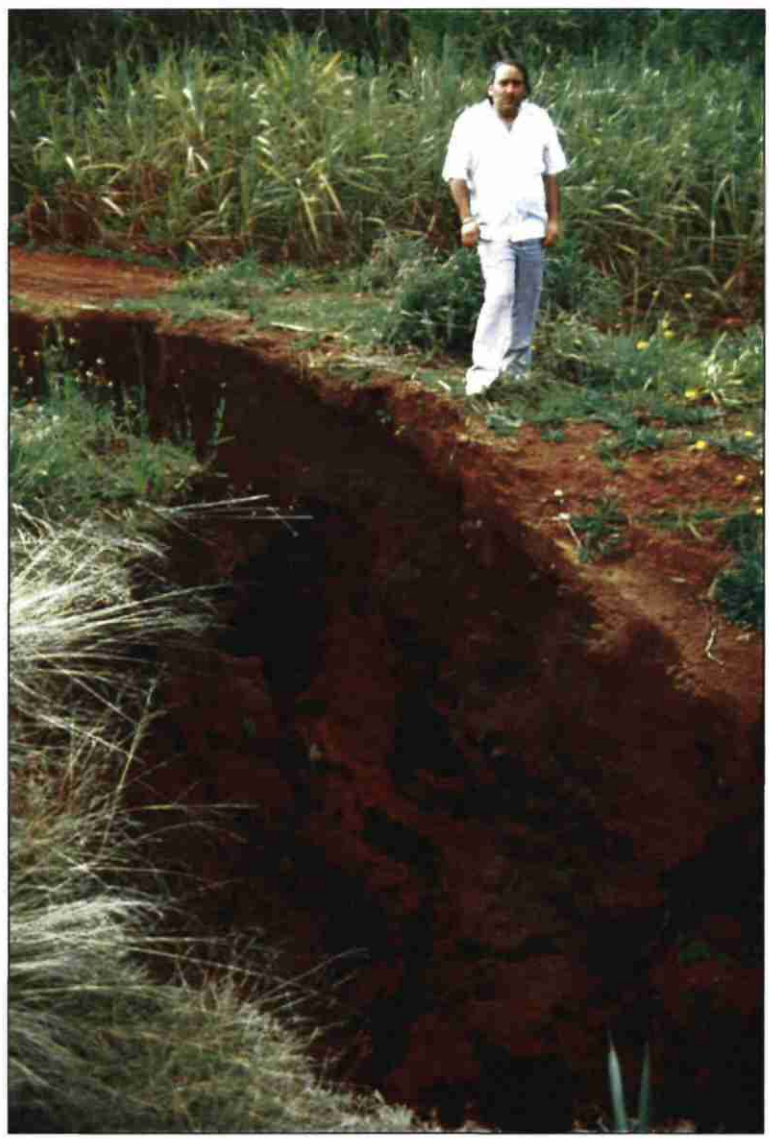


Fig. 42 : Concentration des eaux de ruissellement par un chemin, aboutissant à un important ravinement

Certaines routes à flanc de pente (L'Entre-Deux) sont surplombées par un talus important (plusieurs dizaines de mètres) soumis à des phénomènes de chutes de blocs et de pierres, d'éboulements ou de ruissellement. Dans certains cas, ces processus ont été très loin (cas de la piste menant du village du Bélier au Col des Bœufs, dans le Cirque de Salazie, où l'érosion a progressé en amont comme en aval de la piste, par ravinement,

transport et érosion régressive). Enfin, il est des cas où le travail de l'érosion commence de manière souterraine, par renardage, avant de se transformer en ravinement, qui emporte la chaussée (Fig. 43).

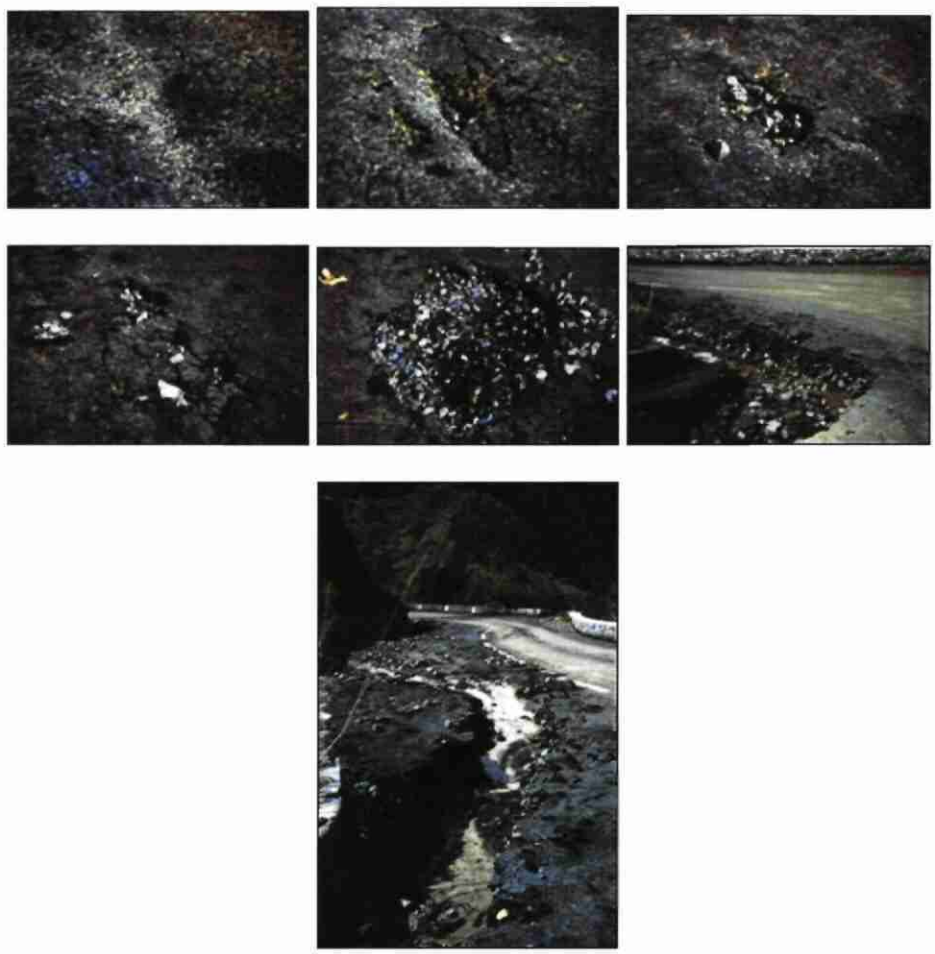


Fig. 43 : Différents stades du ravinement d'un revêtement routier, exemple vers Decottes, Sainte-Suzanne

Enfin, il est des cas d'aménagements où il n'y a pas à proprement parler d'érosion initiale, mais où les érosions sont induites postérieurement, pas forcément sur le même lieu. Par exemple, les implantations de constructions et des viabilisations sur de grandes surfaces constituent de vastes zones imperméabilisées, où l'infiltration des eaux pluviales ne peut se faire et où le ruissellement des eaux superficielles est fortement augmenté, puis drainé par les réseaux vers un exutoire qui concentrera des débits anomaux. Des érosions diverses et souvent imprévisibles seront ainsi causées en aval de ces exutoires. Ceci est encore aggravé par l'ajout de rejets d'eaux usées, qui aboutissent souvent aux mêmes exutoires.

On peut citer l'exemple du débordement du Bras de Pontho (Fig. 1), où, lors d'un épisode fortement pluvieux lié au passage du cyclone Firinga en 1989, l'eau du cours d'eau a été déviée de son cours, en suivant un aménagement routier. Elle a suivi une route et son caniveau, est sortie de son bassin versant pour entrer dans un bassin versant voisin cultivé. Ce second bassin était petit, et il n'y avait auparavant là qu'un vallon, sans ravinement. L'eau déviée a violemment raviné le vallon sur un kilomètre de distance (Fig. 44), divisant les parcelles cultivées par un fossé de plus de 2m de profondeur, avant de rejoindre le cours initial du Bras de Pontho.



Fig. 44 : Ravinement après débordement du Bras de Pontho, suite à la déviation des eaux par un fossé routier

De nombreuses aires sont aménagées en gardant leur caractère naturel, mais en induisant un piétinement parfois intense par hommes, bêtes ou véhicules. On peut, par exemple, citer les aires de récréation, des environs de chantier où circulent des piétons, des aires aménagées pour la pratique de sports de plein air,... Les piétinements occasionnent là des érosions directes, notamment sur les terrains les plus pentus. Ils causent également des érosions indirectes, lors qu'ils finissent par tuer les petits végétaux et que le sol est mis à nu, et en participant à l'imperméabilisation du sol (effet similaire à la battance), ce qui modifie les conditions d'écoulement superficiel.

Les poses de réseaux divers enterrés, tels que canalisations, réseaux de communication, se font par creusement, puis comblement pour retrouver le modelé initial du terrain naturel ; il n'y a donc pas là de départ de matière. Mais le foisonnement occasionné par ce travail fragilise grandement le sol, de sorte que des ravinements emportent très souvent une partie de ces matériaux, ce qui modifie les écoulements d'eaux superficielles, et occasionne de fortes érosions, tout particulièrement dans les zones pentues.

Les incendies de forêt sont une cause indirecte d'érosions souvent catastrophiques, pour plusieurs raisons. Lors des interventions des pompiers destinées à maîtriser le feu, des quantités d'eau sont subitement et violemment déversées, et érodent directement les parties superficielles du sol. Suite à l'incendie, le couvert végétal protégeant le sol de l'impact des gouttes de pluie et contribuant à la formation des couches superficielles du sol disparaît, et expose ainsi le sol aux intempéries, et ce durant le temps que des végétaux mettront à recoloniser la zone.

Les aménagements provisoires, tels que des radiers temporaires sur des ravines, sont condamnés à être érodés par l'action des eaux de la ravine. Les accumulations de matériaux encombrants ou de déblais dans des décharges "sauvages" sont souvent rapidement emportés par l'érosion. Ces deux cas d'érosion provoquée vont causer des dommages en aval. Dans les cours d'eau, la charge solide anomale va contribuer à

l'érosion des berges par sape mécanique et au bouchage de portions de ravines. Ils perturbent globalement les écoulements superficiels.

3.2.3. Répartition et contrôle

Les aménagements sont contrôlés par le comportement de l'Homme. Seuls, des principes d'aménagements concertés et des réglementations effectivement appliquées et contrôlées peuvent infléchir les effets négatifs du développement de l'Île vis à vis de l'érosion. Des actions de lutte peuvent également être mises en place afin de maîtriser les processus érosifs, par contrôle des écoulements superficiels, revégétalisation ou mise en place d'ouvrages spécifiques à la lutte contre l'érosion.

3.2.4. Évolution prévisible

Dans les zones occupées par l'Homme, l'évolution de l'érosion provoquée par les aménagements peut faire, dans la plupart des cas, l'objet de mesures de protection et réhabilitation. En cas d'abandon, les talus et falaises raides évolueront sans doute rapidement pour atteindre un profil de pente à l'équilibre (de l'ordre de 30°). Cette évolution se fait simultanément en sommet de talus (front d'érosion régressive) et en base de talus, avec constitution d'un glacis de matériaux érodés (Fig. 45). Selon le contexte, elles pourront alors se stabiliser et se revégétaliser, ou bien devenir les "noyaux" de processus d'érosions actives.
D'une manière générale, on peut affirmer que tout aménagement a un impact, directement ou indirectement, à court ou long terme, sur l'érosion des terrains environnants ou éloignés. La prévision des phénomènes érosifs passe par la connaissance et/ou la planification de la mise en place d'aménagements.



Fig. 45 : Évolution d'un talus de route: érosion par dessiccation et effritement des argiles de latérites, et constitution d'un glacis, exemple sur la route de La Montagne

3.3. Érosion agricole et liée à l'occupation du sol

3.3.1. Rappels historiques

Comparée aux formes d'érosion naturelles, l'érosion des sols agricoles est en général moins spectaculaire. Néanmoins, l'arrivée de l'Homme à La Réunion au 17ème siècle et sa conquête des terres ont accéléré un phénomène souvent insidieux car peu visible, mais susceptible d'avoir des conséquences dramatiques à terme.

Ainsi dans la courte histoire de La Réunion, on peut retenir les éléments suivants :

- les défrichements effectués pour différentes raisons (mise en valeur agricole, besoin en bois de construction ou en bois de chauffe, pour l'ancien chemin de fer,...), ont mis à nu progressivement des surfaces importantes et, bien que manuels, ont fragilisé les terrains expoités ;
- certaines cultures sensibles, comme le café, ont subi des avalasses dramatiques en 1806/1807 notamment, qui ont contribué au déclin de cette culture (au profit de la canne à sucre), mais aussi au comblement de plusieurs zones humides voire de plans d'eau (comblement partiel de l'Etang de Saint-Paul, comblement de l'ancienne lagune de l'Hermitage,...) ou encore ont favorisé le développement de pierriers ;
- plus récemment, la difficulté à soutenir la filière géranium est en partie liée à des baisses de rendement, provoquées par la baisse de fertilité des sols, elle-même liée à l'érosion ;
- une dernière remarque montre encore l'importance du phénomène d'érosion dans l'Île et la prise de conscience qu'en avaient les décideurs de l'époque : les actes des concessions mentionnaient explicitement la nécessité d'être prudent pour mettre en valeur un terrain à forte pente.

3.3.2. Principales manifestations

a) Érosion diffuse, en nappe, en feuillets ("sheet erosion")

Dès qu'il y a ruissellement d'eaux superficielles, s'organisent des transports de particules légères. Lorsque le ruissellement s'effectue sous forme d'un filet d'eau minuscule, on parle de ruissellement diffus. Lorsque le réseau de filets devient très dense, de sorte que le ruissellement prend la forme de lames d'eau, on parle d'érosion diffuse généralisée ou **érosion en nappe** (Fig. 46).

Il en résulte un décapage de l'ensemble de la surface du sol affecté. C'est la forme d'érosion la plus insidieuse, car peu visible : une érosion de 30 t/ha/an ne correspond qu'à une perte d'épaisseur de 1 à 2 mm du terrain naturel.



Fig. 46 : Exemple d'érosion en nappe

Les deux symptômes visuels de l'érosion en nappe sont :
- d'une part, l'apparition de plages de terrain de couleurs claires aux endroits les plus décapés, due à la disparition de l'horizon humifère ;
- d'autre part, la "poussée" de cailloux dans les champs (Fig. 47) ou l'apparition de racines en surface.



Fig. 47 : Cailloux "poussant" : manifestation visible de l'érosion en nappe, Le Guillaume

Dans cette forme d'érosion cruciale pour l'agriculture, le ruissellement ne fait que transporter les particules arrachées par les gouttes de pluie.

b) Érosion concentrée linéaire ou en rigole ("rill erosion") et en ravine ("gully erosion")

L'érosion linéaire apparaît lorsque le ruissellement en nappe s'organise. Celui-ci creuse alors des formes de plus en plus profondes (Fig. 48).

Plusieurs noms sont donnés en fonction de leur importance :

Si les traces sont effaçables par les techniques culturales, on parlera :

- de **griffes** (petits canaux de quelques centimètres de profondeur) ;
- de **rigoles** (canaux de plus de 10 cm de profondeur).

Si elles ne sont plus effaçables par les techniques culturales, on parlera :

- de **nappes ravinantes** : lorsque les creux ne dépassent pas 10 à 20 cm mais que leur largeur atteint plusieurs mètres ;
- de **ravines** : lorsque les creux atteignent plusieurs dizaines de cm (plus de 50 cm) avec la distinction entre petites et grandes ravines (Fig. 49).

Ici, c'est l'énergie du ruissellement qui cause l'arrachement des particules du sol.

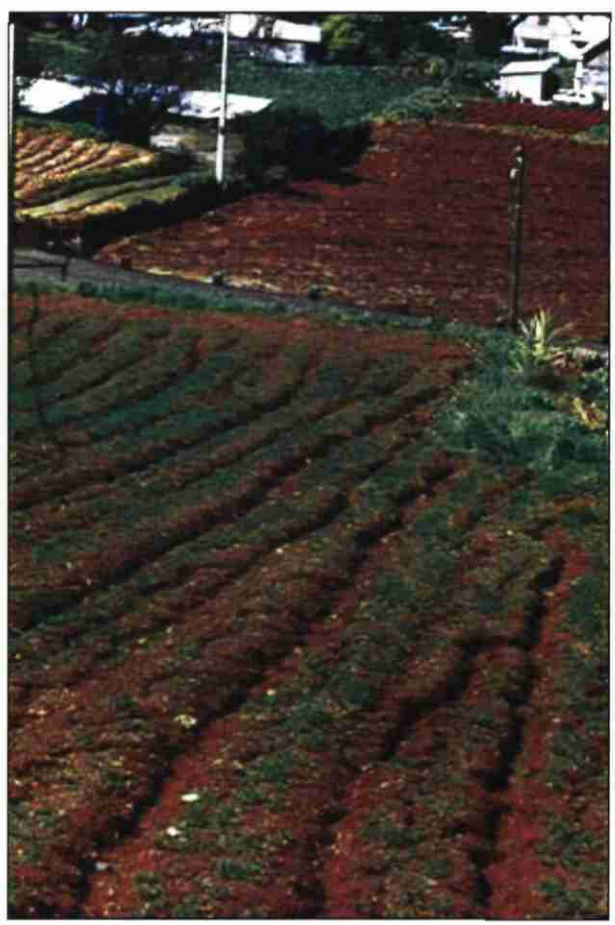


Fig. 48 : Ravinement après travail du sol dans le sens de la pente, Piton Hyacinthe, plaine des Cafres



Fig. 49 : Exemple de ravinement important, affectant un andosol, plaine des Cafres

3.3.3. Facteurs, phénomènes et processus opérants

L'érosion sur les terrains agricoles arrache à chaque pluie en l'espace de quelques minutes la matière que la nature constitue pendant des centaines d'années. Ce phénomène se manifeste par un amincissement de la couche arable ; elle conduit à une perte de fertilité et donc à des baisses de rendement (palliées dans un premier temps par l'apport d'engrais ou de fumier) mais qui peuvent aboutir dans les cas extrêmes à l'abandon du terrain. C'est la partie vivante du sol, celle qui est la plus fertile qui disparaît la première, laissant rapidement la place à un sol stérile voire à la roche mise à nu. L'agriculture réunionnaise est en pleine mutation et évolue rapidement ; encore jeune comparée à d'autres agricultures, elle est à la recherche de son équilibre avec le milieu naturel.

Les travaux du Laboratoire de Géographie Physique de l'Université de La Réunion et du CIRAD ont permis de mettre en évidence quelques caractéristiques de l'érosion agricole à La Réunion : ils illustrent l'importance des facteurs d'érosion, les uns par rapport aux autres.
Ces références sont établies à partir d'essais sur des petites parcelles (type Wishmeier, notamment) et même si elles ne peuvent pas prétendre représenter la diversité des phénomènes, elles rendent compte de l'importance relative de chaque facteur (par une quantification de l'érosion en faisant varier chaque facteur isolément).

a) Les précipitations

À La Réunion, les précipitations sont très agressives. Ainsi une intensité record de pluie a été enregistrée en 1963, à Cilaos : 413,2 mm/h sur une durée de 30 mn. Sans heureusement atteindre cet extrême catastrophique, les précipitations sont fréquemment violentes : les I30 max. (Intensité maximale sur un pas de temps de 30 mn) couramment enregistrées à La Réunion sont de l'ordre de 20 à 30 mm/h, pour atteindre lors des épisodes cycloniques 50 mm/h, voire 100 mm/h avec des probabilités de retour décennales (Bessette et Duret *in* Raunet, 1991).

À titre d'exemple, on peut citer quelques éléments quantitatifs d'érosion de matière.

- Relevés à la station du CIRAD de Trois Bassins dans les Hauts de l'Ouest :

  - en année sans cyclone : **20-30 t/ha/an** ;
  - suite à l'effet de pluies orageuses de début et de fin d'été marquées : **38-98 t/ha/an** ;
  - lors de cyclones (les intensités de pluies sont rarement fortes mais sont compensées par la durée des précipitations : **60 à 120 t/ha/an** (Clotilda et Firinga).

L'amplitude maximale du facteur pluviométrique vis à vis de l'érosion correspond donc dans ce cas à une échelle de 1 à 6 (les autres facteurs sont équivalents pour l'ensemble de ces mesures)

- Relevés à la station du CIRAD de Sainte-Marie sur la côte nord :
  - les pluies y sont de trois à quatre fois supérieures en quantité par rapport aux Hauts de l'Ouest, mais les intensités deux à trois fois plus faibles, d'où une érosion modérée, même sur sol nu comprise entre **6 et 25 t/ha/an.** (soit dans ce cas une amplitude de 1 à 4 du facteur pluviométrique).

b) Les sols

À La Réunion, une grande partie des cultures se trouve sur des andosols ; ces derniers représentant 80% des sols cultivables. Leur stabilité, assez bonne vis-à-vis de l'érosion, est remise en cause par leur remaniement.

Les andosols sont des sols particuliers, qui se forment à partir de verres volcaniques, le plus souvent à partir de cendres volcaniques. Ils possèdent une forte teneur en produits amorphes : les allophanes. Ces derniers sont des minéraux secondaires issus de l'altération supergène, ce sont des silicates hydratés amorphes.

Les allophanes ont la propriété, une fois soumis à une dessication, de perdre l'eau inclue dans leur réseau moléculaire, cette réaction étant irréversible. L'andosol ainsi affecté, par exemple lors d'un labour, perd ainsi irrémédiablement ses qualités initiales.

Les andosols, contrairement aux autres sols tropicaux sur lesquels la battance et l'effet splash (effets de mini-explosion dû à l'impact des gouttes de pluie, désolidarisant le sol, et produisant des éléments fins colmatant la porosité du sol) sont prédominants, sont atteints par un phénomène de décollement-flottation des agrégats. De plus, l'érosion en nappe semble moins importante que l'érosion en rigole sur les andosols cultivés.

Enfin, un andosol déjà érodé devient de plus en plus érodible (phénomène que Raunet appelle une auto-catalyse). Les mesures comparatives effectuées sur des sols érodés et non érodés montrent une différence : le CIRAD a ainsi mesuré une différence de décapage de 17 mm après une seule année (+ 2 mm pour le sol après jachère, à cause du foisonnement lié à la gratte manuelle et – 15 mm pour le sol érodé).
En effet, c'est l'horizon le mieux structuré (et donc le plus résistant) qui part le premier ; le sol est ensuite beaucoup plus fragile. En outre, les plantes auront plus de mal à se développer (matière organique, couverture...) : il y aura alors de moins en moins de résistance du sol. Ainsi, pour le cas des andosols, l'érosion est un facteur d'érosion.

c) Les pentes

En zone tropicale, l'érosion est susceptible de se produire pour un seuil de pente de 1% (Roose, 1994). Les mesures effectuées à La Réunion montrent que sur les pentes inférieures à 10% l'incidence de ce facteur n'est pas significative ; elle le devient pour des pentes supérieures.

Or, l'île est loin d'offrir de grandes étendues horizontales : environ 21% de sa surface a des pentes inférieures à 10 % et 25% des pentes seulement sont inférieures à 15% (Ducret, 2001). Sans compter que cette superficie plus favorable accueille une bonne partie des surfaces construites, les cultures se retrouvent donc dans des fourchettes de pentes de valeur importante.

d) Les cultures et les pratiques culturales

Les types de cultures et les pratiques culturales qui y sont assujetties jouent un rôle prédominant dans les phénomènes d'érosion superficielle.

Ainsi, des essais sur parcelles effectués à la Station de Beaumont (Ste-Marie) montrent des pertes de :
- 3 t/ha/an sous végétation naturelle ;
- 24 t/ha/an en culture manuelle ;
- mais 190 t/ha/an en culture mécanisée.

On aboutit alors à une échelle de 1 à 60 environ

Dans l'Ouest (Trois Bassins), les mesures sont les suivantes :
- 1 t/ha/an en culture traditionnelle manuelle ;
- plus de 100 t/ha/an en culture mécanisée (après défrichement-dessouchage).

Soit une échelle de 1à 100.

Les types de culture, mais aussi les cycles de culture et les périodes de récolte (calendrier d'implantation ou de récolte par rapport aux périodes à risque) sont également déterminants. Les cultures peu couvrantes et annuelles posent de sérieux problèmes. Parmi celles-ci, figurent en première ligne les plantes sarclées comme la pomme de terre et le géranium. Un cas exceptionnel d'érosion a ainsi été mesuré : une récolte effectuée avant trois pluies orageuses en février 1988 a entraîné une érosion de **421 t/ha** (Bougère *in* CIRAD, 1988).

Il faut noter que l'on ne dispose pas de mesures comparables pour des cultures maraîchères intensives, mais il faut craindre des chiffres encore supérieurs dans certaines conditions.

e) Les aménagements extérieurs

On peut également noter un facteur aggravant de l'érosion, qui n'est pas strictement d'origine agricole mais qui conduit à la perte de superficies cultivées. Il s'agit de la mauvaise gestion des eaux pluviales qui engendre une divagation des eaux de ruissellement. On rejoint ici les notions présentées dans le paragraphe relatif aux érosions anthropiques non agricoles (cf. paragraphe 3.2)

Lors du passage du cyclone Firinga en 1989 dans les régions du Tampon et de Petite-Ile, des buses de radiers sous-dimensionnées se sont bouchées dès le début des crues et des champs entiers ont été emportés ou gravement endommagés avec des érosions de **4 200 à 6 800 t/ha,** ce qui représente entre **21 et 34 cm** d'épaisseur de terre arable quand l'agriculteur a effacé le ravinement (Bougère, 1989).

3.3.4. Répartition géographique

La pente joue un rôle important dans la détermination des phénomènes d'érosion agricole, mais il est difficile d'en rendre compte dans le cadre de la présente étude (la variabilité est importante et l'analyser reviendrait à anticiper l'étape suivante de cartographie de l'aléa). On conviendra donc que la carte des phénomènes érosifs s'appuie sur deux facteurs essentiels, à savoir le type d'activité agricole et l'agressivité des précipitations, et que chacun pourra la nuancer en fonction de sa connaissance du relief local.

a) Les types d'occupation du sol

On distinguera les occupations du sol en fonction de la fréquence des phénomènes érosifs observés, par ordre de fréquence décroissante (cf. Tableau 6) :

- 9 : le maraîchage intensif, fortement mécanisé (notamment avec l'utilisation de rotavator, cf. Fig. 50). On observe des ravinements fréquents et une perte significative de sol sur un temps court (de l'ordre de 50 cm en 70 ans, à Piton Hyacinthe, par exemple) ; le nombre de cycles par année, la mise en œuvre d'un travail du sol en période à risque et la proximité d'un réseau de voirie mal canalisé, sont les facteurs aggravants principaux des zones concernées ;
- 9 : le maraîchage, associé à d'autres productions plus protectrices, peut aboutir à des phénomènes qui peuvent être dramatiques ponctuellement mais non généralisés à l'échelle du terroir (forte variabilité des phénomènes observés) ;
- 8 : les cultures vivrières (moins mécanisées), les cultures fruitières semi-pérennes (ananas, bananes), les plantes sarclées pérennes (géranium...) génèrent des phénomènes importants en terme d'évolution de la fertilité, mais sont souvent moins spectaculaires ;
- 7 : les cultures fruitières pérennes sont beaucoup moins sensibles à l'érosion (ceci d'autant plus si elles sont associées à une couverture du sol) : beaucoup de vergers sont, en effet, de plus en plus souvent enherbés. Si la parcelle n'est pas couverte, on observe alors des phénomènes d'érosion superficielle (souvent

difficiles à repérer, sauf si l'on a des indicateurs comme les roches ou les racines) et des ravinements en cas d'arrivée d'eau intempestive ;

- 6 : parmi les cultures peu érosives, il faut citer la canne à sucre et la prairie, avec une restriction, cependant, qui est liée au cycle de renouvellement de ces productions : la replantation de la canne et la mise en valeur des prairies entraînent la mise à nu des terrains (et leur remaniement) lors de la saison des pluies. Il y a donc une période sensible qu'il ne faut pas négliger dans le bilan final vis-à-vis de l'érosion ;
- 5 : enfin, les occupations forestières sont globalement très protectrices même si certaines parcelles de forêt de production peuvent être fragilisées par une coupe à blanc (cf. remarque précédente avec un pas de temps beaucoup plus long pour la forêt de cryptomerias) ou si certaines végétations naturelles sont peu couvrantes.

C'est sur la base de cette classification qu'a été réalisée la cartographie des érosions liées à l'occupation du sol (Fig. 10).



Fig. 50 : Décapage généralisé du sol suite au travail au rotavator, Piton Hyacinthe

b) Les zones climatiques

Les occupations du sol qui viennent d'être décrites doivent être nuancées par le type de climat rencontré.
Ainsi, dans l'Est (avec un gradient positif vers la zone de Sainte-Rose / Saint-Philippe), les précipitations importantes font, à culture égale, augmenter la fréquence des phénomènes érosifs et leur gravité.
À l'inverse, dans l'Ouest, le dessèchement irréversible des andosols travaillés (qui deviennent alors pulvérulents), peut entraîner des phénomènes également dramatiques ; il faut également tenir compte dans ces secteurs du risque d'incendie pour les forêts, les friches, les prairies….

Enfin, les zones irriguées, grâce à une maîtrise de l'eau, permettent de mettre en place les productions à une période moins critique et sont plutôt situées sur des sols moins

sensibles, mais globalement elles favorisent le développement de cultures maraîchères. Ces zones peuvent ainsi connaître quelques problèmes d'érosion.

c) Pratiques actuelles des agriculteurs

L'analyse des pratiques des agriculteurs est **complexe**. La lutte contre l'érosion (ou son absence) est liée à l'ensemble des caractéristiques de l'exploitation, tant sur le plan physique que sur les caractères humains au sens large.
Ce qui contribue fortement à augmenter les risques d'érosion est la volonté des agriculteurs de rentabiliser, selon eux, l'espace au maximum, à assurer un revenu (à court terme) ou encore à limiter les dépenses, faute de trésorerie. C'est cela qui conduit souvent à des défrichements sur des pentes fortes ou à utiliser des techniques agressives, mais de mise en oeuvre rapide et subventionnée.
Il est important d'avoir à l'esprit qu'une technique de lutte contre l'érosion doit être non seulement efficace pour protéger l'exploitation, mais aussi bien intégrée au système de production.

Le rapport au **foncier** est très rarement du type "patrimoine agricole transmis de génération en génération" (ce qui n'est pas le cas pour l'habitat). Cela se vérifie pour les colons mais également pour les attributaires de la SAFER qui n'ont pas encore établi une nouvelle relation à ce foncier. La terre est considérée comme une ressource minière qui peut s'épuiser et que l'on abandonnera alors. La réforme foncière mise en œuvre par la SAFER et la sédentarisation autour de l'habitat, et donc des voies principales telles que la Route Hubert Delisle, ont eu tendance à fixer de nombreux agriculteurs de manière définitive. Ainsi, les pratiques traditionnelles sont devenues inadaptées et les principes de base de l'agronomie n'ont pas été retrouvés. Le déséquilibre s'est alors accentué conduisant les agriculteurs au découragement et à un désengagement (accéléré par les transferts sociaux).

Néanmoins, les agriculteurs peuvent avoir une réelle **conscience** des risques d'érosion. C'est souvent pour eux "avant tout un problème d'eau qui ruisselle et qui cause des dégâts". Les aspects concernant la connaissance des facteurs sont très rarement perçus par les agriculteurs.

D'autres problèmes se posent, tels que la notion **d'horizontalité** qui est difficile à maîtriser dans un relief aussi tourmenté que celui, par exemple, de la zone à géranium. Malgré cela, un effort existe chez certains agriculteurs et l'on remarquera que la plupart des conseils techniques qui suivent s'appuient en grande partie sur les pratiques de quelques-uns d'entre eux.

Certains agriculteurs sont de véritables chercheurs, toujours à l'affût d'innovations. Cette observation peut d'ailleurs être étendue à l'ensemble des agriculteurs des îles de l'océan Indien pour lesquelles le problème est comparable et les solutions au moins partiellement transférables de l'une à l'autre.



Fig. 51 : Cultures et andains de pierre parallèles aux courbes de niveaux (OLAT de Simambry)

3.3.5. Moyens de lutte contre l'érosion

Les techniques de lutte contre l'érosion agricole sont multiples et nécessitent une approche au cas par cas. Néanmoins, à titre d'illustration, on peut citer les principes suivants :

- Toujours privilégier une approche par bassin versant

- Évacuer les eaux pluviales excédentaires :
  - fossés simples dans les parcelles ;
  - fossés le long des chemins, exutoires vers les ravines…

- Réaliser des aménagements anti-érosifs simples :
  - cultures en courbe de niveau (Fig. 51) ;
  - barrières anti-érosives (cordons, haies, murets…) diminuant la vitesse d'écoulement d'eaux superficielles (obstacle) et augmentant l'infiltration d'eau dans le sol ;
  - bandes anti-érosives (alternance spatiale de cultures protectrices et non protectrices : 5 à 10 m de large par exemple).

- Veiller à une qualité des travaux de sol et gérer la fertilité :
  - choix des outils et des engins (travail minimum, travail horizontal). Alternatives du bouteur : premières expériences et qualité des travaux (labour chimique, débroussailleurs, sous-solage, machine à bêcher, cisaille, tracteurs forestiers polyvalents) ;
  - synchronisation entre cycles culturaux et calendrier de travaux : pour avoir une protection maximale par les cultures lors des épisodes pluvieux ;
  - fumure organique ;
  - rotations.

- Améliorer la couverture du sol :
  - choix des cultures en fonction des pentes ;
  - paillage et couvertures vivantes (avec mécanisation adaptée : canne planteuse...) ;
  - associations (agroforesterie...) ;
  - respect des densités.

3.3.6. Évolution prévisible

Pour ce qui est de l'érosion d'origine agricole à La Réunion, la tendance actuelle est plutôt préoccupante : développement des cultures maraîchères, de la mécanisation... Néanmoins, certains éléments sont encourageants :

- des actions de recherche sont développées pour mettre au point des techniques conciliant davantage la lutte contre l'érosion et la réussite économique de l'exploitation ;

- l'effort de formation est de plus en plus présent sur ce thème et le niveau de formation des agriculteurs ne cesse d'augmenter ;

- des dispositifs incitatifs divers permettent désormais d'encourager les techniques de protection ; ils sont appuyés par la mise en place de règles d'attribution de subventions pour les travaux classiques (cas des défrichements et épierrages faits par des bouteurs), même si des problèmes subsistent.

Il est clair qu'une volonté de l'ensemble des acteurs concernés pour prendre en compte le problème de l'érosion agricole, est la condition indispensable pour réussir à limiter ce phénomène ; cette érosion est bien sûr liée à des causes naturelles mais son ampleur actuelle est largement d'origine anthropique.

4. Conclusions

À la suite de ce double travail d'analyse et de cartographie, un bilan des phénomènes érosifs ayant eu lieu ou ayant lieu sur le territoire réunionnais a été établi sous forme cartographique. Cet état des lieux porte sur la typologie des phénomènes, et sur leur répartition géographique.

Les mécanismes impliqués ont été classés et quantifiés, dans la mesure du possible, mais il existe bien souvent une gradation progressive entre les différents phénomènes, et une interrelation complexe entre les phénomènes, et entre les facteurs déclenchants. Dans certains cas, les limites sont, au contraire, très brutales.

L'image qui est donnée par la cartographie des intensités des érosions est valable en un instant donné, en l'occurrence 1997, date de référence de la BD Topo® (prise de vue des clichés aériens), laquelle a grandement servi de base à ce travail. La vision globale qu'on retire de ce document est plutôt "orangée", c'est-à-dire que, globalement, les phénomènes érosifs présentent une intensité moyenne, sur l'ensemble de l'Île.

Le propre des phénomènes érosifs est d'être vivant et en constante évolution. Des secteurs ont déjà été façonnés par l'érosion jusqu'à atteindre un équilibre et dont l'évolution est fortement ralentie, voire bloquée à l'échelle humaine. Mais, dans bien des endroits, la situation évoluera parfois vite, sous l'impulsion de changements brutaux de facteurs, ou bien lentement, en suivant le cours normal de l'évolution géomorphologique.

On aborde ainsi naturellement la notion d'aléa érosif, qui fera l'objet de la seconde partie de cette étude. Son évaluation et sa cartographie sont complémentaires de l'état des lieux qui vient d'être réalisé. Le travail à venir s'appuiera sur cet état des lieux, sur une analyse des facteurs géographiques et des liens de causalité connus pour l'existant pour tenter de prédire les évolutions futures. D'ores et déjà, une approche par bassins versants est considérée comme primordiale, et la réflexion concernant les facteurs d'évolution de l'érosion est déjà bien avancée.

5. Bibliographie

Aubié S. Oliveros C. (mars 2001) - Evolution du trait de côte de 1950 à 1997 de la plaine de la rivière Saint-Etienne - Pierrefonds. Rapport BRGM/RP - 50700 - FR-2001 SGR/REU 01, 39 p.

Aubie S., Oliveros C., Guerin I. (novembre 1999) - Evolution du trait de côte de 1950 à 1997 de la Baie de la Possession à l'embouchure de l'Etang de Saint-Paul. Rapport BRGM R 40780 - 99 SGR/REU 34, 34 p.

Aubié S, Oliveros C., coll. Girault F. (2001) - Evolution du trait de côte de la plaine de la rivière du Mât de 1950 à 1997, Ile de la Réunion. Rapport BRGM/RP-50814-FR - 2001 SGR/REU 06, 39 p. + 1 ann. h. t. (2 planches).

Auzet V. (1987) - L'érosion des sols par l'eau dans les régions de grande culture : aspects agronomiques. Ministère de l'Environnement et Ministère de l'Agriculture, Paris, CEREG, Strasbourg, Organisation-Environnement, 53 p. + annexes.

Barcelo A. (1996) - Analyse des mécanismes hydrologiques en domaine volcanique insulaire à relief jeune. Apports à la connaissance du bilan hydrique. Massif du Piton de la Fournaise (île de la Réunion). Thèse de doctorat, Spécialité Sciences de la Terre et de l'Eau, Université de La Réunion.

Bougère J. (1988) - Rapport d'activité et rapport scientifique, programme quadriennal 1985-1988, Eaux superficielles et souterraines à La Réunion, érosion et bilan de surface. Tranche 1986-1987, 64 p.

Bougère J (1988) - Aperçu sur l'érodibilité des andosols cultivés à La Réunion, *in* Les andosols de l'île de La Réunion. Préparation d'un programme de recherches pluridisciplinaires. Séminaire de Saint-Denis, 24 mai 1er juin 1988, CIRAD, CNRS, INRA, ORSTOM, Université

Bougère J. (1989) Rapport d'activité et rapport scientifique, Programme quadriennal 1985-1988, Eaux superficielles et souterraines à La Réunion, Érosion et bilan de surface, Tranche 1988, 40 p, Université de La Réunion.

Charte réunionnaise de l'environnement, 1996.

Dossier Départemental des Risques Majeurs : un exemple, La Réunion (1995), Edition Préfecture - BRGM - Rectorat, 76 p.

Ducret J.M. (juin 2001) - Contribution à la cartographie de l'aléa "érosion pluviale superficielle agricole" à La Réunion, Université de La Réunion - document APR, 84 p.

Hébert A. - Guide de l'érosion, en cours de rédaction, 87 p

Humbert M., Pasquet R. et Stieltjes L. (1981) – Les risques géologiques dans les cirques de Salazie et de Cilaos (Ile de La Réunion). Rapport BRGM 81 SGN 543, 101 p., 2 pl. h.t.

Humbert M. et Stieltjes, L. (1986) - L'érosion dans le cirque de Mafate, Ile de La Réunion, ses conséquences sur le maintien de l'économie des ilets. Rapport BRGM 86 REU 173 GEG, 48 p.

Humbert M. (1985) - Les systèmes érosifs des grandes ravines "Au Vent" à l'Ile de La Réunion. Leurs conséquences sur l'aménagement du littoral et des hauts. Volume I. Rapport BRGM 85 SGN121 GEG, 67p.

Latrille E. (novembre 1979) - Cours sur l'érosion et les techniques de lutte anti-érosives, 58 p.

Perret S. (janvier 1993) - Propriétés physiques, hydriques et mécaniques de sols andiques de La Réunion, facteurs d'évolution des horizons culturaux, implications agronomiques et écologiques. Publication CIRAD, 279 p.

Raunet M. (1991) - Le milieu physique et les sols de l'île de La Réunion. Conséquences pour la mise en valeur agricole. Publication CIRAD, 438 p.

Raunet M. (1988) - Aperçu sur le milieu physique et les sols andiques de La Réunion, Préparation d'un programme de recherches pluridisciplinaires, séminaire de Saint-Denis mai-juin 1988, pp 53-75.

Réseau Érosion, Bulletin n°16 (1996) - Etat de surface du sol et risque de ruissellement et d'érosion. Publication ORSTOM.

Réseau Érosion, Bulletin n°19 (1999) - L'influence de l'homme sur l'érosion. Volume 1 : à l'échelle du versant. Colloque international "L'homme et l'érosion" organisé par les réseaux GRES (IRAD) et EROSION (IRD) au Cameroun du 9 au 19/12/1999 . -- Montpellier : IRD, 1999 . -- 608 p. : ill. ; 21 cm . -- (Bulletin Réseau Erosion ; 19) G 453

Robert R. (1986) - Climat et hydrologie à La Réunion, étude typologique, étude régionale de l'alimentation et de l'écoulement. Thèse d'Etat, Université de Montpellier, 438 p.

Robin C., Estienne J., Meau Y., De Crecy L. (1988) - Rapport sur la politique de réduction des dommages dus aux dépressions tropicales sur l'île de La Réunion.

Roose E. (1994) - Bulletin pédologique de la FAO n°70, "Introduction à la gestion conservatoire de l'eau, de la biomasse et des sols et de la fertilité des sols (GCES)".

Soler O. (1997) - Atlas climatique de La Réunion, Météo France, Direction interrégionale de La Réunion, Sainte-Clotilde, 79 p.

Soltner, D. (1992) - Phytotechnie générale. Les bases de la production végétale. Sciences et Techniques agricoles Angers. I- Le sol. 466p. 18e éd. 1990. II- Le climat : météorologie, pédologie, bioclimatologie. 320p. 6e édit. 1992. III- La plante et son amélioration 383 p. Sciences et Techniques agricoles, Angers. 1990.

Saint-Denis
Sainte-Marie
Sainte-Suzanne
la Possession
le Port
Saint-Andre
Bras-Panon
Saint-Paul
Saint-Benoit
Salazie
Cirque de Mafate
Cirque de Salazie
Piton des Neiges
Les Trois-Bassins
Sainte-Rose
Cilaos
la Plaine-des-Palmistes
Cirque de Cilaos
Saint-Leu
Les Avirons
Piton de la Fournaise
Saint-Louis
le Tampon
Saint-Pierre
Petite-Ile
Saint-Philippe
Saint-Joseph

N
W E
S

Echelle 1/75 000

2 0 2 4 6 8 10 Kilomètres

Combinaison des érosions géomorphologiques et liées à l'occupation du sol

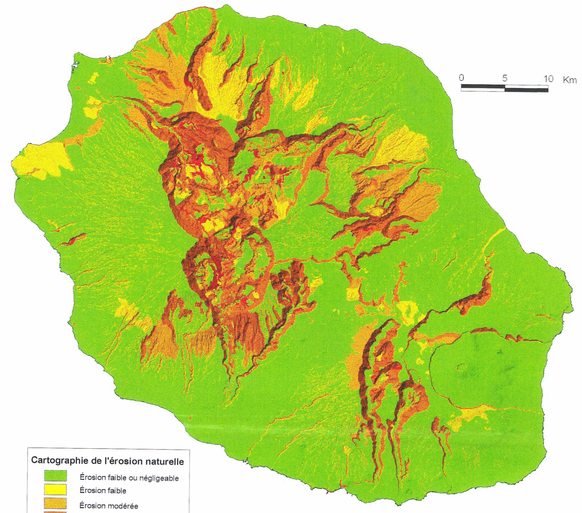
Érosion géomorphologique:	Érosion liée à l'occupation du sol:
négligeable	quasi inexistante, couvert forestier
faible	peu fréquente, essentiellement liée à la mise en valeur des terrains
modérée	peu marquée, cultures pérennes assez protectrices
forte	fréquente, travail du sol ou cultures peu couvrantes
active	souvent spectaculaire plus ou moins généralisée, travail du sol agressif et fréquent

Pluviométrie

Zone de précipitations annuelles > 2.5 m, aggravant et augmentant la fréquence des phénomènes érosifs.

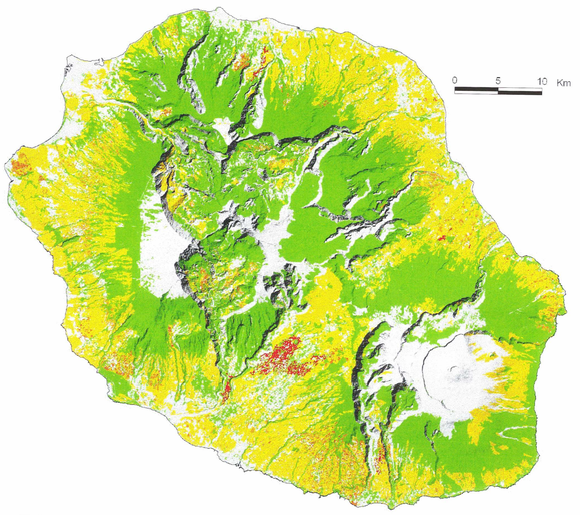
Urbanisation

Zones habitées



Cartographie de l'érosion naturelle

- Érosion faible ou négligeable
- Érosion faible
- Érosion modérée
- Érosion forte
- Érosion active



Cartographie de l'érosion liée à l'occupation du sol

- Érosion faible ou négligeable
- Érosion quasi inexistante, présence d'un couvert forestier
- Érosion peu fréquente, essentiellement liée à la mise en valeur des terrains
- Érosion peu marquée, avec cultures pérennes assez protectrices
- Érosion fréquente, travail du sol ou cultures peu couvrantes
- Érosion souvent spectaculaire plus ou moins généralisée, travail du sol agressif et fréquent

Cartographie de l'aléa "érosion des sols" à La Réunion

Phase 1: caractérisation et cartographie (1/100 000 à 1/50 000) des phénomènes érosifs

Annexe : Carte à 1/75 000 des différents types d'érosion à La Réunion

septembre 2001
BRGM/RP-51236-FR
2001 SGR/REU 27