Ministère de l'Economie,
des Finances et
de l'Industrie

REGION REUNION

Evaluation et cartographie de l'aléa "mouvements de terrain" à l'échelle du 1/25 000 sur la commune de Cilaos

Etude réalisée dans le cadre des actions de Service Public BRGM SP 97-H-26

mars 1999
Rapport R 40578
98 REU 35

BRGM
L'ENTREPRISE AU SERVICE DE LA TERRE

Mots clés : Cartographie, Aléas, Enjeux, Mouvements de terrain, Risques, Zonage, Cilaos, Ile de la Réunion.

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

Cruchet M., avec la collaboration de Fontaine F. (1999) – Evaluation et cartographie de l'aléa mouvements de terrain à l'échelle du 1/25 000 sur la commune de Cilaos, Ile de la Réunion.

Rapport BRGM R 40578 / 98 REU 35, 7 fig., 2 tabl., 3 ann. dont 2 pl.h.t, 38 p.

©BRGM, 1999, ce document ne peut être reproduit en totalité ou en partie sans l'autorisation expresse du BRGM.

Synthèse

Cadre et objectifs de l'étude

Dans le cadre de ses actions de Service Public, le BRGM a entrepris une cartographie communale des aléas naturels «mouvements de terrain», à l'échelle du 1/25 000. Chaque commune est traitée individuellement. Cette cartographie constitue un document d'orientation en matière d'aménagement du territoire. Elle répond aussi aux objectifs de la Loi du 22 juillet 1987 relative à la Prévention des Risques Majeurs qui définit les rôles respectifs des communes et de l'Etat en la matière. Elle correspond également aux directives du Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement en ce qui concerne la représentation cartographique des risques naturels. Enfin, ces travaux contribuent à la mise en place des Plans de Prévention des Risques naturels prévisibles (loi du 02 février 1995).

Cette opération est cofinancée par le Ministère de l'Economie, des Finances et de l'Industrie, d'une part, et le Conseil Régional de la Réunion d'autre part (convention DEAT 3 / 970250).

Typologie des mouvements de terrain

Les mouvements de terrain recensés dans le cirque de Cilaos dénotent d'une évolution active de l'érosion, d'ampleur très variable.

Les phénomènes caractéristiques rencontrés sur le territoire de la commune sont :

- des mouvements de grande ampleur (glissements de versant, éboulements de rempart) ;
- des éboulements et chutes de pierres qui se développent à partir des escarpements rocheux et des fortes pentes ;
- des glissements et tassements des ilets qui donnent naissance à des déboulés qui se propagent sur les flancs des plateaux jusqu'aux ravines encaissées ;
- des laves torrentielles et embâcles qui se déclenchent lors des pluies tropicales dans les ravines très encaissées (Bras Rouge en particulier) ;
- l'érosion des versants. Tous les paramètres propices à l'érosion sont réunis dans le cirque : les pentes sont fortes, le couvert végétal parsemé voire absent, les matériaux, altérés, sont friables et le climat est de type aride.

Cartographie de l'aléa « mouvement de terrain » à l'échelle du 1/25 000

Le zonage proposé comprend 3 niveaux d'aléas principaux I, II, III avec des sous-classes pour les niveaux moyens et élevés (IIa, IIb et IIIa, IIIb).

Le niveau I correspond à des secteurs stables où les « mouvements de terrain » recensés sont rares et de faible ampleur. Compte tenu de la forte exposition du cirque, aucune zone n'a été classée en niveau I.

Le niveau IIa traduit une exposition à des mouvements de terrain de faible ampleur qui nécessite de prendre des dispositions particulières.

Le niveau IIb signale une exposition potentielle à des mouvements de terrain. Le manque d'informations sur l'occurrence des phénomènes fait que le diagnostic est incertain. L'aménagement de ces secteurs (implantation de nouvelles infrastructures ou de nouvelles constructions) sera subordonné à des analyses préalables précisant l'ampleur et l'extension des phénomènes « mouvements de terrain » et à la mise en œuvre éventuelle de protections.

Le niveau III indique une présomption d'exposition forte pouvant conduire à des situations de danger pour les populations. Les zones d'aléa élevé sont les remparts et leur piémont, les ravines et leurs pentes associées. Le niveau IIIa exprime un degré moins élevé, notamment en raison de la pente faible. Les zones IIIb sont des espaces où l'érosion est active et où la présomption de phénomènes dangereux est élevée à très élevée.

Recommandations

Les actions à conduire sur la commune sont de plusieurs ordres.

A court terme, elles concernent :

- la protection des populations situées dans les zones III par une évaluation des situations de danger (danger permanent, danger temporaire, danger à moyen terme lié à une érosion régressive, danger maîtrisable,...) ;

- l'élaboration de documents visant à réglementer et maîtriser l'occupation des sols dans les zones IIa ;

- les diagnostics à réaliser sur les secteurs incertains de niveau IIb, afin de protéger les populations si le risque s'aggravait ou de laisser s'implanter des aménagements dans ces secteurs si ce risque s'avère maîtrisable.

A moyen et long terme, les actions de lutte contre l'érosion devront être poursuivies et étendues aux zones habitées.

SOMMAIRE

1. CADRE ET OBJECTIFS DE L'ETUDE 7

2. PRÉSENTATION DE LA COMMUNE 8

3. DESCRIPTION DU MILIEU PHYSIQUE 10

3.1 CADRE GEOGRAPHIQUE 10
3.1.1 Origine et morphologie du cirque de Cilaos 10
3.1.2 Découpage en unités géographiques homogènes 12
3.2 CONTEXTE GEOLOGIQUE DU TERRITOIRE COMMUNAL 13
3.2.1 Les formations volcaniques du massif du Piton des Neiges 13
3.2.2 Les formations détritiques 14
3.2.3 Les formations d'altération 15
3.3 CLIMATOLOGIE 16

4. LES ALÉAS GÉOLOGIQUES « MOUVEMENTS DE TERRAIN » 17

4.1 METHODOLOGIE DE LA CARTOGRAPHIE 17
4.1.1 Définitions 17
4.1.2 Méthode d'étude 18
4.1.3 Caractérisation de l'aléa 19
4.1.4 Prise en compte de l'aléa 19
4.2 TYPOLOGIE DES MOUVEMENTS DE TERRAIN 22
4.2.1 Les mouvements de grande ampleur 22
4.2.2 Les affaissements-glissements et les déboulés 26
4.2.3 Eboulements-Chutes de blocs 28
4.2.4 Erosion des sols 28
4.2.5 Embâcles, coulées boueuses et laves torrentielles 29
4.3 CARTE DES ALÉAS « MOUVEMENTS DE TERRAIN » 31

5. ENJEUX ET VULNÉRABILITÉ 32

5.1 POPULATION 32
5.2 ELÉMENTS EXPOSÉS 32
5.3 LE RÉSEAU ROUTIER 33
5.4 ESPACES URBANISÉS ET ACTIVITÉS DE LA COMMUNE 33
5.5 ESPACES AGRICOLES ET MILIEU NATUREL 33

6. CONCLUSION 35

6.1 MENACES AUX BIENS ET AUX INFRASTRUCTURES 35
6.2 ACTIONS À ENGAGER 36
6.2.1 Evaluation des aléas 36
6.2.2 Situations de danger 37
6.2.3 Aménagements futurs 37
6.2.4 Protection et lutte contre l'érosion 37

7. BIBLIOGRAPHIE 38

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Situation de la commune de Cilaos au sein du bassin de risque de la Rivière Saint-Etienne 9
Figure 2 : Carte des pentes sur la commune de Cilaos 11
Figure 3 : Découpage du territoire de la commune de Cilaos en unités géographiques homogènes 12
Figure 4 : Lame d'eau moyenne annuelle à la Réunion sur la période 1970 à 1995 16
Figure 5 : Schéma de l'écroulement du plateau des Chênes (d'après Humbert et al, 1981)23
Figure 6 : Schéma d'un éboulement en grande masse dans le Bras de Saint-Paul (d'après Humbert et al, 1981) 25
Figure 7 : Fissuration de la bordure du plateau de Mare Sèche suite au passage de la dépression tropicale Hyacinthe en 1980 (d'après Humbert et al, 1981) 27

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Caractérisation et prise en compte de l'aléa "mouvements de terrain" 21
Tableau 2 : Caractéristiques du réseau routier principal desservant le Cirque de Cilaos 33

ANNEXES

Annexe 1 (dans le texte) : Fiches récapitulatives des unités géographiques de la commune de Cilaos.

Annexe 2 (hors texte) : Zonage des mouvements de terrain par types et niveaux d'aléa (échelle 1/25 000).

Annexe 3 (hors texte) : Cartographie informative des zones à risque en fonction des principaux enjeux répertoriés (échelle 1/25 000).

1. Cadre et objectifs de l'étude

La « **cartographie de l'aléa mouvement de terrain à l'échelle du 1/25 000 sur la commune de Cilaos** », objet du présent rapport, s'inscrit dans un programme de cartographie communale réalisé pour le compte **du Ministère de l'Economie, des Finances et de l'Industrie** (fiche SP 97-H-26) et de la **Région Réunion** (convention DEAT 3 / 970250) dans le cadre des actions de Service Public du BRGM

Ce travail est conforme à la philosophie de la loi du 22 juillet 1987 relative à la Prévention des Risques Majeurs qui définit les rôles respectifs des communes et de l'Etat, notamment le devoir de porté à la connaissance du public.

La cartographie réalisée constitue un document d'orientation en matière d'aménagement du territoire et participe à la mise en place des Plans de Prévention des Risques naturels prévisibles -P.P.R.- (loi du 02 février 1995 et décret 95-1089 du 05 octobre 1995).

La démarche retenue aboutit :

- à un recueil de données factuelles (événements recensés dans la base de données régionale des mouvements de terrain du Service géologique régional du BRGM à la Réunion, repérage sur le terrain d'indices d'instabilité, informations fournies par les services de la mairie) ;
- à une analyse du milieu physique (informations topographiques, géologiques, hydrologiques) et son interprétation en terme de prédisposition aux mouvements de terrain ;
- à un recensement des enjeux et éléments exposés (habitat, réseau routier, zones d'activité).

Les résultats de cette étude ont été intégrés dans une base de données cartographique géoréférencée et informatisée. Celle-ci est subdivisée en trois thèmes principaux :

- milieu physique ;
- phénomènes naturels (mouvements de terrain) ;
- enjeux.

La même structuration est adoptée dans le présent rapport qui comprend, en outre, une restitution cartographique à l'échelle du 1/25 000 et des fiches synthétiques par unité géographique de risque.

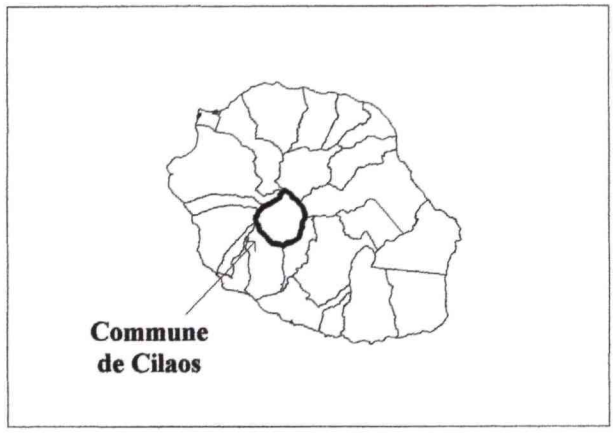
2. Présentation de la commune

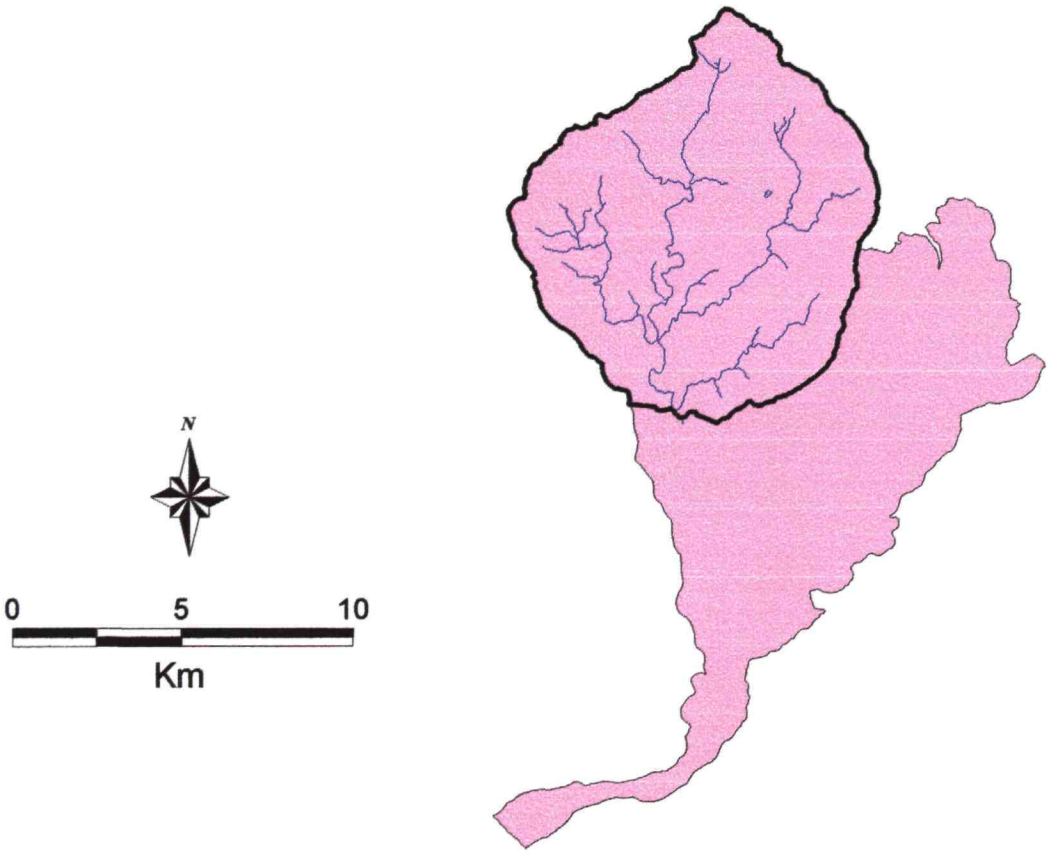
La commune de Cilaos s'inscrit dans une vaste dépression de forme sub-circulaire (cirque), entaillée dans le flanc Sud du Massif du Piton des Neiges. Cette commune des Hauts, totalement enclavée, est accessible depuis Saint-Louis par la route nationale 5.

La population était de 5856 habitants lors du recensement de 1990, répartis sur une superficie de 84,36 km².

Administrativement, la commune fait partie de l'arrondissement de Saint-Pierre.

Du point de vue de la prévention des risques naturels, la commune de Cilaos est située dans le bassin de risque de la Rivière Saint-Etienne (Cruchet M., 1995, Rapport BRGM 95 REU 37). Le bassin versant de cette dernière est constituée par le cirque de Cilaos et par le bassin versant du Bras de la Plaine (figure 1). Bien que, les bassins de risque correspondent à des domaines géographiques continus où les aléas sont sensiblement les mêmes tant dans leur nature que dans leur intensité, des particularités géologiques ou morphologiques existent néanmoins à l'intérieur de chaque bassin.





LEGENDE

Bassin de risque n° 9 : Rivière Saint-Etienne

Territoire communal de Cilaos

Réseau hydrographique principal

Figure 1 : Situation de la commune de Cilaos au sein du bassin de risque de la Rivière Saint-Etienne.

3. Description du milieu physique

3.1 CADRE GEOGRAPHIQUE

3.1.1 Origine et morphologie du cirque de Cilaos

Le cirque de Cilaos est une vaste dépression de forme circulaire (diamètre de 10 km) creusée par l'érosion régressive dans le flanc sud du massif du Piton des Neiges (figure 2).

Les remparts abrupts qui le délimitent culminent à plus de 2000 m d'altitude. Entre le cirque de Cilaos et le cirque de Mafate, le rempart correspond à l'échine édentée du col du Taïbit (2083 m) qui relie les deux points culminants du cirque : le Grand Bénare (2896 m) et le Piton des Neiges sensu stricto (3069 m).

Le fond du cirque a été fortement entaillé par de profondes ravines qui convergent vers le Bras de Cilaos, exutoire de la dépression.

Des plateaux ont toutefois été épargnés par l'érosion récente ; se sont les « ilets ». Certains de ces ilets sont attachés au pied du rempart : on parle alors « d'ilets banquette », (ils sont situés en rive droite du Bras de Saint-Paul), d'autres sont isolés (par exemple : Ilet à Cordes). L'altitude des plateaux décroît du Nord vers le Sud, passant de 1200 m à 700 m.

Des reliefs en forme de chicots ou d'échines subsistent dans le cœur du cirque.

D'un point de vue morphologique, on distingue quatre ensembles emboîtés (bassins) :

1) Le mini-cirque de Palmiste Rouge, drainé par le Petit Bras de Cilaos, délimité au nord par la crête du Gros Morne de Gueule Rouge (1305 m) et du Piton Morel, et au sud par le rempart du cirque de Cilaos. Cet ensemble englobe les secteurs de Palmiste Rouge, Peter Both et Ilet à Calebasse ;

2) Le mini-cirque de Cilaos-bourg et de Bras Sec situé au nord du précédent, drainé par les ravines de Benjoin et du Bras des Etangs ;

3) Le bassin du Bras de Saint-Paul formant la partie Est du cirque, au sud du Piton de Fleurs Jaunes ;

4) Enfin, le Rond de Bras Rouge drainé par le Bras Rouge. Cet ensemble correspond au bassin versant situé au nord des reliefs intrusifs du Piton de Sucre et de la Chapelle et englobe les fortes pentes au sud du Piton des Neiges (sensu-stricto) et de la crête des Salazes.

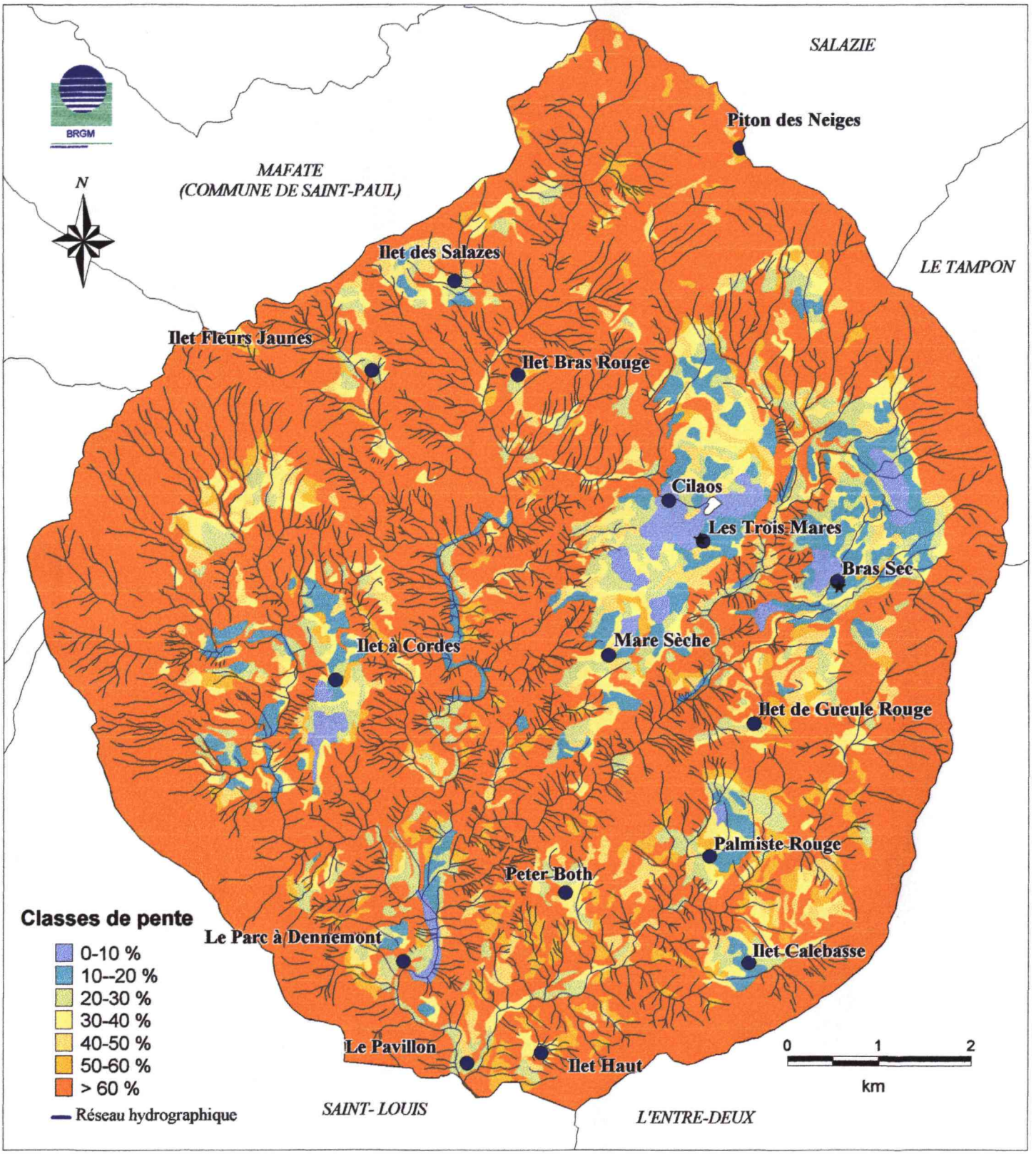
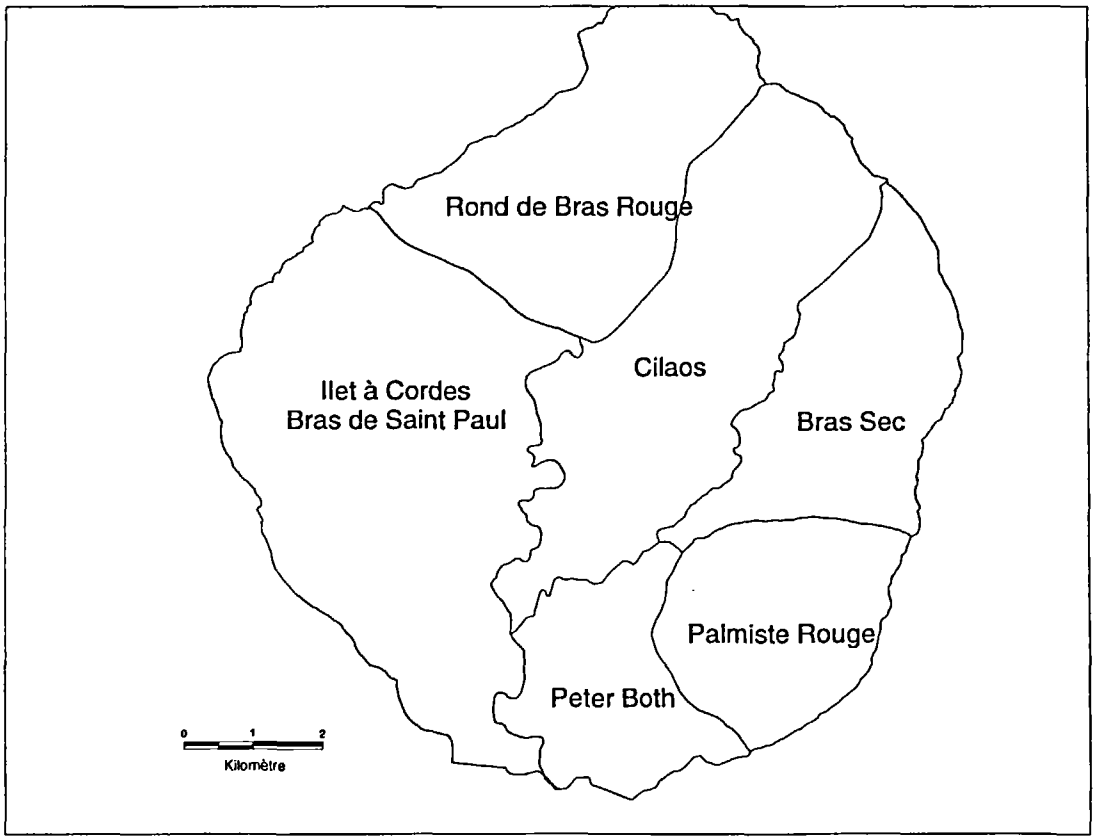


Figure 2 : Carte des pentes sur la commune de Cilaos
(Traitement informatique de la carte IGN n° 4405 RT à l'échelle 1/25000)

3.1.2 Découpage en unités géographiques homogènes

Afin de prendre en compte la diversité géographique de la commune, un découpage de son territoire en secteurs géographiques homogènes est proposé (figure 3). Les secteurs sont définis selon des critères physiques. Cependant, chaque unité géographique peut être encore subdivisée en fonction du morcellement géographique du secteur, de l'occupation du sol (plusieurs villages) ou de critères d'accessibilité. On dispose ainsi (cf. fiches en annexe 1) d'une information synthétique.



N° de secteur	Unité géographique
1	Le Pavillon - Peter Both
2	Palmiste Rouge
3	Cilaos – Mare Sèche
4	Bras Sec
5	Ilet à cordes - Bras de Saint-Paul
6	Rond de Bras Rouge

Figure 3 : Découpage du territoire de la commune de Cilaos en unités géographiques homogènes

3.2 CONTEXTE GEOLOGIQUE DU TERRITOIRE COMMUNAL

L'île de la Réunion est constituée par deux grands massifs volcaniques de nature essentiellement basaltique :

- le massif du Piton des neiges (3069 m) au Nord-Ouest, en sommeil ;
- le massif du Piton de la Fournaise (2631 m) au Sud-Est, actif.

La commune de Cilaos est située sur le flanc sud du massif du Piton des Neiges.

3.2.1 Les formations volcaniques du massif du Piton des Neiges

Le Piton des Neiges a d'abord été un édifice sous-marin avant son émersion, il y a plus de 2,1 millions d'années (Ma). Ses dernières manifestations d'activité remontent à environ 12 000 ans. Le magmatisme du Piton des neiges est de type transitionnel à alcalin.

Les océanites anciennes (> 2,1 Ma)

Il s'agit des premières laves émergées dont l'âge est supérieur à 2,1 millions d'années (phase I du massif du Piton des Neiges). On les rencontre dans le fond et sur les flancs des ravines encaissées du cirque.
Constituées de coulées de lave, de pyroclastites et de brèches de remaniement (Chevallier, 1979 ; Rançon, 1980), elles ont subi une intense hydrothermalisation (zéolitisation).
Leur état d'altération avancé les rend facilement reconnaissables (effritement de la roche), de même que le cortège d'intrusions filoniennes très dense qui les parcourt (réseau de dykes et de sills). Les cours d'eau se sont encaissés aisément dans ce matériau friable.
La série des océanites anciennes affleure, en particulier, très largement sur la route d'Ilet à Cordes.

Les océanites récentes (2,1 Ma à 430 000 ans)

Constituées d'empilements monotones de coulées de basalte à olivine ou de basalte aphyrique, peu ou pas zéolitisés, la série des océanites récentes (phase II du massif du Piton des Neiges) forme l'ossature des remparts délimitant la commune.

On retrouve ces formations au niveau du relief central du Gros Morne de Gueule Rouge et de Piton Morel. Les coulées massives sont bien individualisées

La série différenciée (350 000 à 12 000 ans)

Il s'agit des formations (coulées de lave et pyroclastites) du massif du Piton des Neiges que l'on retrouve sur le haut des remparts où elles recouvrent les séries des océanites.
Contrairement au cas des cirques de Salazie et de Mafate, elles n'apparaissent pas dans le cœur du cirque de Cilaos.

La phase terminale d'instalation de cette série est marquée par un dynamisme explosif important.
Cette période de croissance du massif du Piton des Neiges est marquée par la mise en place d'importantes intrusions de syénite quartzifère au sein des séries d'océanites. Ces masses de grande extension et de grand volume ont un rôle fondamental dans la morphologie actuelle du cirque : en forme de dômes ou de lames orientées Est-Ouest, elles affleurent aujourd'hui au niveau des reliefs du Piton de Sucre et de la Chapelle où, mécaniquement résistantes, elles créent un obstacle à l'érosion.

3.2.2 Les formations détritiques

Les alluvions récentes

Les fortes pentes du cirque, l'encaissement des ravines et le régime torrentiel des cours d'eau font que les matériaux sont rapidement évacués vers le littoral. La plupart des ravines sont profondément entaillées dans le substratum volcanique.

Peu représentées, les alluvions récentes apparaissent sporadiquement dans le fond des principales ravines, sous forme de petites terrasses allongées, ou dans les méandres formés entre des verrous rocheux dans le Bras de Saint-Paul et le Bras Rouge. Vers le Pavillon, on peut observer ces alluvions qui sont grossières et propres.

Les formations d'épandage

Elles se sont mises en place à des périodes anciennes lors de phases de comblement. D'après la carte géologique à 1/50 000 de la Réunion (Billard, 1975), il s'agit de formations superficielles classées en «produits d'épandage ».

Selon Kieffer (1990), il existe des preuves d'actions érosives depuis 150 000 ans. Au début de cette période, une compétition entre le volcanisme du Piton des Neiges et l'érosion a eu lieu (comblement versus érosion du cirque).

La grande diversité des faciès qui composent ces formations traduit en réalité des modes de dépôt variés : coulées de solifluxion, coulées boueuses, éboulis, éluvions (Billard, 1975).

Elles occupent de grandes étendues dans le cirque, au niveau des plateaux résiduels épargnés par l'érosion. Les blocs de taille variable sont généralement anguleux, peu émoussés. La matrice grossière, sablo-graveleuse, est parfois mêlée à des pyroclastites fines.

Au cours de la phase de creusement du cirque, des matériaux se sont accumulés à l'amont des barrages naturels formés à la suite de glissements ou d'éboulements de grande ampleur. Actuellement, on observe un creusement des lits de ravines. Cette phase d'érosion active provoque une vidange des matériaux accumulés par le passé dans le cirque et réactive le recul des versants.

Chaque bassin (ou mini-cirque) se comporte différemment. Dans le bassin de Cilaos - Bras Sec, les formations d'épandage, largement représentées, forment des plateaux.

Dans le bassin du Bras de Saint-Paul et de Palmiste Rouge, ne subsistent que quelques ilets banquettes en pied de rempart.

Dans le bassin du Bras Rouge, des brèches apparaissent sur les flancs des versants.

Les dépôts fins reposant dans des dépressions

Il s'agit de colluvions sablo-limoneuses qui se sont déposées à la surface des ilets dans des dépressions fermées. Elles occupent des mares (par exemple : secteur des Trois Mares à Cilaos-bourg). Certaines sont sèches ou occasionnellement remplies d'eau : Mare Sèche, Mare d'Affouches, Mare à Montfleury. On rencontre également des dépressions fermées, à Ilet à Cordes, au lieu-dit Le Fond de la Cour.
A Ilet à Calebasse, des dépressions forment de véritables entonnoirs et rappellent celles de Grand Ilet dans le cirque de Salazie.
Selon le fonctionnement hydraulique de ces mares, des dépôts fins peuvent continuer à se former.

Les éboulis en pied de rempart

On retrouve des cônes d'éboulis en pied de rempart sur les « ilets banquettes » ou sur les plateaux. Lorsque ces pieds de remparts sont sapés par une ravine ou une gorge, les éboulis sont systématiquement évacués par les eaux torrentielles en période de crues.

Les crêtes de Gueule Rouge et de Grand Piton alimentent de nombreux cônes d'éboulis actifs, recoupés par la RN 5 entre Le Pavillon et Mare Sèche.

3.2.3 Les formations d'altération

D'un point de vue pédologique, les sols de l'intérieur du cirque qui se sont développés soit à partir de brèches de démantèlement, soit à partir de formations volcaniques anciennes zéolitisées, sont essentiellement des sols caillouteux, sensibles à l'action de l'eau.

Les sols sont attaqués de toutes parts par un ravinement généralisé qui donne un aspect de « bad lands », caractéristiques des versants escarpés en bordure des ilets. Bien drainés, ils permettent des cultures spécifiques au Cirque de Cilaos (vignes, lentilles, ...).

Des dépôts plus fins se sont déposés dans les dépressions à fond plat. Ces colluvions terreuses sont parfois humides, et temporairement inondées (mares).

Le rempart occidental (Bras de Saint-Paul) est aride, peu végétalisé, tandis que le versant oriental (Cap Bouteille, Bonnet de Prêtre), plus humide et moins ensoleillé, présente une végétation plus fournie.

3.3 CLIMATOLOGIE

L'île de la Réunion est soumise à un régime d'alizés de sud-est, dirigés par l'anticyclone de l'océan Indien. Pendant l'hiver austral (mai à novembre), le courant d'alizé est généralement stable, induisant un temps relativement frais et sec. Durant l'été austral (décembre à avril), l'éloignement de l'anticyclone vers le Sud et l'abaissement de la zone de basses pressions intertropicales, affaiblissent les alizés et donnent un temps chaud, humide et pluvieux. C'est pendant cette saison que peuvent se créer les cyclones tropicaux. Une des résultantes de cette situation est l'intensité exceptionnelle des précipitations (records mondiaux à la Réunion pour des durées comprises entre 3 h et 12 jours : 500 mm en 3 h ; 1 000 mm en 24 h ; 6 000 mm en 12 j).

Dans ce contexte climatique, la commune de Cilaos est située dans la moitié de l'île "sous le vent". Les précipitations moyennes annuelles sont comprises entre 2500 et 5500 mm (figure 4).

De grandes variations de pluviosité s'observent sur cette commune ; le secteur Nord-Est est plus arrosé que le secteur Sud-Ouest.

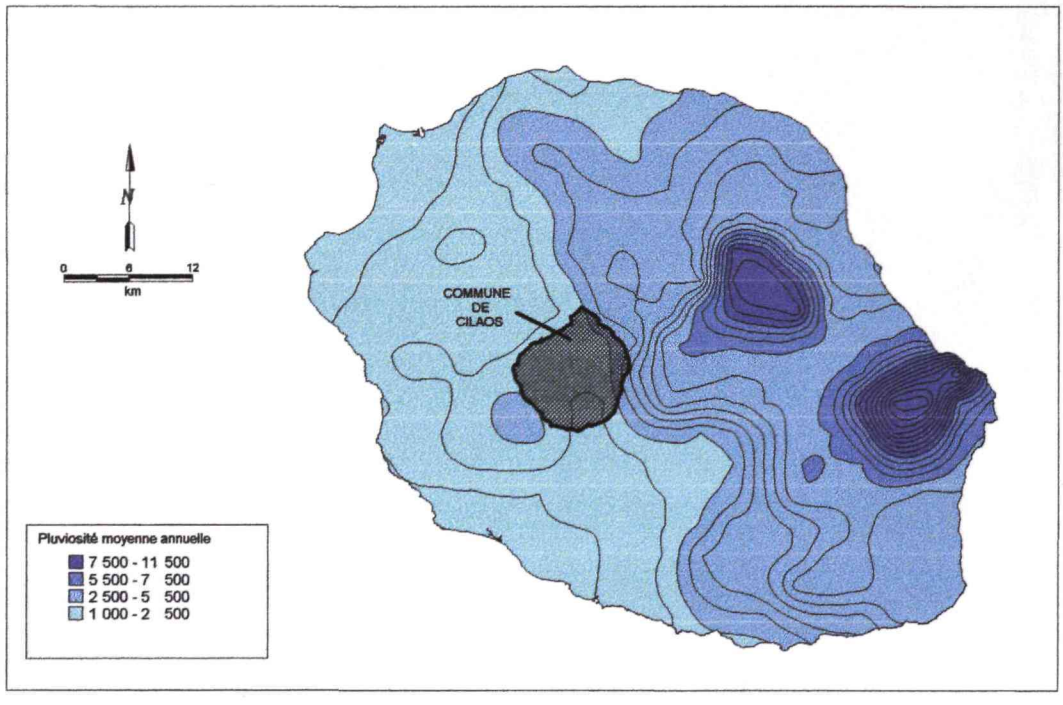


Figure 4 - Lame d'eau moyenne annuelle à la Réunion sur la période 1970 à 1995
(d'après le modèle BARGEAS 1984, données Météo-France)

4. Les aléas géologiques « mouvements de terrain »

4.1 METHODOLOGIE DE LA CARTOGRAPHIE

4.1.1 Définitions

L'occurrence d'un phénomène menaçant tel qu'un mouvement de terrain requiert un ensemble de conditions pour lesquelles on distingue habituellement :

- les facteurs permanents ou de prédisposition ;
- les facteurs déclencheurs ou aggravants.

Les facteurs permanents définissent dans l'espace (X, Y, Z) la susceptibilité vis-à-vis d'un phénomène. Il s'agit, par exemple, pour les mouvements de terrain, de la lithologie, de la pente, des caractéristiques mécaniques des formations géologiques, de l'occupation du sol, éventuellement de la fracturation, de l'altération, etc.. Tous ces paramètres ne varient pas ou peu dans le temps ; ce sont les conditions inhérentes au milieu physique.

Les facteurs déclencheurs introduisent, en plus de l'aspect spatial, une condition temporelle sur l'occurrence du phénomène. Pour les mouvements de terrain, on considère généralement les facteurs aggravants suivants :

- le déclencheur hydraulique, c'est-à-dire un épisode météorologique et ses répercussions en un point donné, par exemple en termes de pression interstitielle et d'état de saturation ;
- le déclencheur sismique[1] qui modifie et majore la composante gravitaire dans l'équilibre d'un versant ou d'un bloc instable ;
- le déclencheur anthropique, car l'action de l'homme est capable de modifier rapidement certains facteurs comme la pente (travaux de terrassement), la couverture végétale (défrichage et incendies) ou la répartition des écoulements d'eau.

L'évaluation de l'aléa « mouvements de terrain » équivaut donc à vérifier des conditions nécessaires et suffisantes de localisation dans l'espace et d'occurrence dans le temps, puis à quantifier l'intensité du phénomène. Vis-à-vis des mouvements de terrain, l'évaluation complète de l'aléa n'est pas accessible (par exemple, il est difficile d'estimer la fonction de transfert entre une pluie et les conditions hydrauliques et l'intensité volume déplacé, énergie, vitesse, etc,... et la fréquence, sont mal définies).

Par défaut, on fait au mieux cette évaluation en cartographiant la susceptibilité aux mouvements de terrain, en tenant compte des déclencheurs possibles et en hiérarchisant les

[1] La Réunion est actuellement classée en zone 0 (sismicité tectonique négligeable) selon le Zonage Sismique de la France. Une sismicité liée à l'activité volcanique du Piton de la Fournaise existe, dont la magnitude est peu élevée et les effets sont mineurs.

phénomènes selon leur ampleur et leur fréquence. On continuera toutefois abusivement à parler d'aléa.

4.1.2 Méthode d'étude

La démarche utilisée est une approche naturaliste du type expertise *a priori*. Il s'agit donc d'un jugement qui classe les phénomènes puis intègre et pondère les différents facteurs à partir de la description et de l'interprétation des observations de terrain. Pour étayer cette évaluation, il est nécessaire de se référer à des phénomènes connus. C'est pourquoi, on cherche en premier lieu à retrouver des mouvements de terrain anciens ou des traces d'instabilité. Cette phase contribue à l'élaboration d'une cartographie informative des phénomènes.

L'inventaire des différents mouvements de terrain survenus dans la zone d'étude, en les classant si possible par type de phénomènes, est issue de l'expérience locale et de la consultation de la base de données régionale des mouvements de terrain du BRGM où sont rassemblés les principaux événements connus sur l'île (plus de 600 événements). Pour chacun, on cherche à définir une typologie et à identifier les facteurs déterminants (hydrogéologie, topographie, nature des terrains) à l'origine du mouvement, en se basant sur des critères ne nécessitant pas la mise en œuvre de moyens spéciaux (essais *in situ* ou de laboratoire).

Les informations ainsi recueillies permettent de généraliser à toute l'étendue de la zone, les cas particuliers recensés. En adoptant un principe de similitude des événements, on détermine ainsi des zones où les " probabilités " d'occurrence d'un type donné de mouvements de terrain sont identiques.

Cette approche interprétative permet d'établir une présomption spatiale d'apparition de tel ou tel phénomène.

4.1.3 Caractérisation de l'aléa

Afin d'assurer une homogénéité dans l'évaluation de l'aléa mouvements de terrain à l'échelle de l'île, une caractérisation validée par les différents interlocuteurs du BRGM en matière de prévention des mouvements de terrain a été retenue. Cette définition est compatible avec une représentation cartographique au 1/25 000. Elle se veut rationnelle et comprend quatre degrés O, I, II, III et des sous-classes :

- l'aléa est nul ou considéré comme nul (degré "O") en l'absence de phénomènes naturels prévisibles ;

- l'aléa est faible (degré "I") lorsqu'une zone présente des caractéristiques géomécaniques plutôt favorables à la stabilité et qu'aucun mouvement ou indice significatif n'y a été recensé. La présomption d'apparition de mouvements de terrain est faible ;

- *a contrario*, dans les zones réputées instables, l'aléa est élevé (degré "III") car de nombreux mouvements de terrain sont recensés, les paramètres géomécaniques sont défavorables et indiquent une stabilité précaire. Le degré "III", ainsi défini, concerne des phénomènes naturels potentiels dangereux d'ampleur conséquente tels qu'écroulements, déboulés ou glissements de grande ampleur ;

- enfin, dans les zones intermédiaires, l'aléa est modéré ou moyen (degré "II"). Il peut s'agir de zones (IIa) où les informations événementielles existent vis-à-vis de mouvements d'ampleur limités, maîtrisables à l'échelle du versant. Dans d'autres cas (IIb), des incertitudes demeurent par rapport à l'extension, l'ampleur et la fréquence des phénomènes potentiels ou bien les caractéristiques des mouvements sont réellement intermédiaires entre un aléa modéré et un aléa élevé. Le diagnostic du degré (II) pourra être affiné afin de reclasser éventuellement le site si l'aléa s'avère : faible (II → I), modéré et maîtrisable (IIb → IIa) ou défavorable et potentiellement dangereux (IIb → III).

4.1.4 Prise en compte de l'aléa

Le zonage proposé dans la cartographie de l'aléa mouvements de terrain à l'échelle du 1/25 000 a pour vocation d'être le support des actions à mener en terme de gestion et de prévention des risques naturels. En ce sens, les différents niveaux d'aléa peuvent d'ores et déjà être assortis de recommandations :

- quand l'aléa est nul ou faible (degrés "0 ou I"), les phénomènes sont maîtrisables par des moyens simples : fossés, soutènements de talus, endiguements de petites ravines..., souvent à l'échelle de la parcelle. Cela impose des précautions aussi bien individuelles que collectives ;

- dans les zones d'aléa modéré (degré "IIa"), les phénomènes d'instabilité sont maîtrisables à la condition d'une prise en compte à l'échelle du versant ou de la zone selon le type d'aléa ;

- dans les zones d'aléa moyen (degré "IIb"), des actions devront être engagées tant vis à vis de la connaissance de l'aléa (surveillance, études,...) que vis à vis de la maîtrise des mouvements de terrain potentiels. L'aménagement de ces zones sera soumis à certaines dispositions spécifiques car des adaptations aux phénomènes sont souvent nécessaires ;

- l'aléa élevé (degré "III) oblige à une prise en considération des phénomènes naturels potentiellement dangereux dans tout projet d'aménagement. L'aléa est souvent non maîtrisable ou difficilement maîtrisable avec des moyens économiques et des techniques courants. L'aménagement sera réglementé voire interdit et des travaux pourront même être engagés pour freiner la dégradation du milieu.

Le zonage proposé à l'échelle 1/25 000 constitue une cartographie décisionnelle dans le sens où il s'agit d'un document d'orientation, d'un outil d'aide à la décision.

En conclusion, la classification proposée prend en compte (tableau 1) :

- le niveau d'aléa au sens strict (fréquence et ampleur des phénomènes) ;
- la possibilité de maîtrise ou non de l'aléa dans une optique d'aménagement ;
- la qualité de l'information disponible (phénomène identifié, situation d'incertitude).

Classe	Amplitude	Description des phénomènes	Recommandations (propositions)
0	Nul	Absence de phénomène prévisible	En raison des conditions climatiques exceptionnelles pouvant affecter l'île, des phénomènes de ravinement, des affouillements localisés, des instabilités de talus, des coulées boueuses peuvent se produire sur toute l'île. En conséquence, le degré 0 n'a pas été retenu à La Réunion.
I	Faible	Pas de phénomènes recensés ou événements de faible ampleur, rares, sans gravité, liés à des conditions climatiques extrêmes (cyclone) tels que ravinements superficiels, instabilités de talus.	En général, ces phénomènes sont maîtrisables par des moyens simples mis en œuvre à l'échelle de la parcelle : fossés revêtus, soutènement de talus, endiguement des petites ravines... Applications des Normes et Recommandations applicables sur l'ensemble de l'île.
IIa	Modéré	Phénomènes connus d'ampleur limités : affaissements, affouillements, glissements superficiels, etc..	Dispositions constructives spécifiques. Normes et recommandations spécifiques à la zone. Les phénomènes ne sont *a priori* pas maîtrisables à l'échelle de la parcelle mais nécessitent une prise en compte à l'échelle du bassin versant ou de la zone selon le type de phénomène. Il faut s'assurer qu'un aménagement inadapté n'augmente pas le niveau d'aléa.
IIb	Moyen	Phénomènes mal connus, notamment vis-à-vis de leur ampleur.	Conduire des investigations spécifiques pour affiner le diagnostic ou pour mettre en place des protections. Constructions gelées ; la réalisation de constructions ou d'aménagements nouveaux doit être subordonnée à la réalisation d'études approfondies ou de travaux.
IIIa	Elevé	Zone étendue associée au degré IIIb telle que phénomènes régressifs (amont des remparts) ou d'extension maximale (aval des remparts)	Evacuations temporaires des populations en période de forte pluie ou définitives si situations de danger imminent. Constructions *a priori* interdites
IIIb	Très élevé	Phénomènes dont la fréquence est relativement élevée et/ou l'ampleur très importante tels : écroulement de rempart, glissement de grande ampleur, laves torrentielles, coulées de boue	Des dispositions contraignantes doivent être envisagées : interdiction *a priori* de nouvelles constructions, évacuation temporaire ou définitive des populations exposées, lutte contre l'érosion.

Tableau 1 : Caractérisation et prise en compte de l'aléa "mouvements de terrain"

4.2 TYPOLOGIE DES MOUVEMENTS DE TERRAIN

Les différents types de mouvements de terrain rencontrés sur la commune de Cilaos sont étroitement liées aux conditions inhérentes au milieu. On peut distinguer :

- les mouvements de grande ampleur ;
- les chutes de blocs et éboulements ;
- les glissements de terrain ;
- les laves torrentielles ;
- l'érosion des sols.

4.2.1 Les mouvements de grande ampleur

On entend par mouvement de grande ampleur, des mouvements de grand volume de terrain, de plus de 1 million de m^3. Ils sont non maîtrisables et ont des conséquences considérables sur le milieu.
Ces mouvements de grande ampleur (glissements, éboulements) sont une composante à part entière de l'évolution récente du Cirque de Cilaos. Sur la plupart des versants, on retrouve des traits morphologiques signalant l'existence de ce type de mouvements de terrain. Certains sont anciens, d'autres paraissent être encore actifs ou pourraient être réactivés.

La dynamique de ces mouvements de grande ampleur est variable. En effet, les phénomènes peuvent se produire avec une dynamique rapide ("instantanée"), semblable à celle de l'écroulement du Grand Sable qui a eu lieu en 1875 dans le cirque de Salazie ; d'autres ont une évolution plus lente et sont plus difficilement perceptibles.

Les facteurs favorisant le déclenchement de ces mouvements dans le cirque sont :

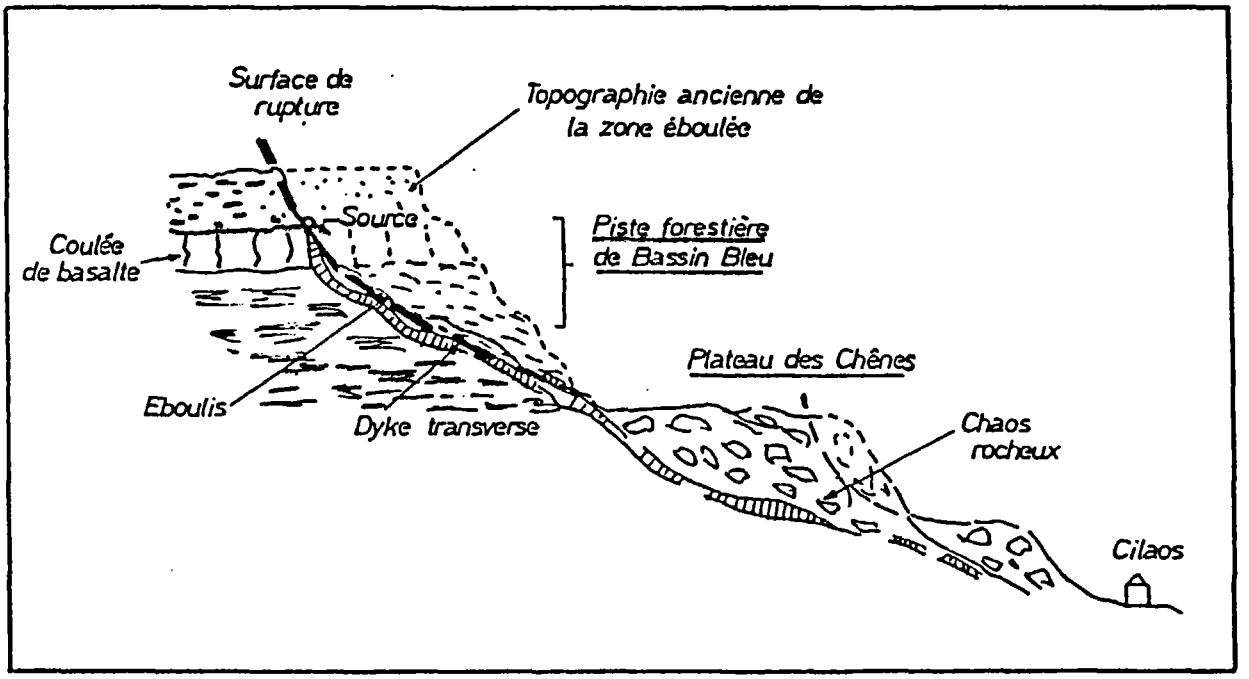
- l'enfoncement progressif du lit des ravines qui entraîne la disparition de la butée de pied des versants ;
- les caractéristiques mécaniques médiocres des terrains d'assise du cirque (brèches primitives très fortement hydrothermalisées, par exemple). Certains mouvements se feraient de façon progressive depuis le pied ;
- le nombre important d'intrusions filoniennes de lave (dykes, sills, ...), souvent en position d'aval pendage, qui peuvent jouer un rôle essentiel dans les mécanismes de rupture ;
- les conditions hydrauliques : pluies cycloniques, circulations hydrothermales, diminution de la perméabilité en profondeur.

L'existence de plusieurs mouvements de grande ampleur a été mise en évidence dans différentes zones du cirque de Cilaos :

➢ **L'écroulement du plateau des Chênes**

Un phénomène de grande ampleur (figure 5) a été repéré par Humbert et al. (rapport BRGM 81 SGN 543, 1981) qui ont noté que la Forêt du Grand Matarum est une zone chaotique, avec des blocs de plusieurs dizaines de m^3 et que cette zone résulte de l'écroulement d'un secteur situé à plus haute altitude (Le Petit Matarum). Les falaises de la rive droite du Bras des Etangs représentent un grand flanc de glissement de cet ensemble. La cicatrice de l'écroulement est parfaitement visible depuis le bourg de Cilaos, au-dessus du plateau des Chênes.

Figure 5 : Schéma de l'écroulement du plateau des Chênes (d'après Humbert et al, 1981)



➢ **Les mouvements de versant**

Le versant de la Tête de Lion compris entre le Bras Rouge et le Bras des Etangs présente des morphologies claires de mouvement de grande ampleur. Le versant correspond à 3 secteurs considérés homogènes du point de vue de leur comportement gravitaire.

Entre le haut du versant et Le Bonnet Carré, on distingue 4 niches d'arrachement. La masse du Bonnet Carré est volumineuse et bien définie, de caractéristiques semblables à celle de la Forêt du Grand Matarum (altitude de leur point culminant identique), ce qui conduit à penser qu'il s'agit de mouvements anciens.

L'analyse de photographies aériennes montre une remarquable morphologie de mouvement de grande ampleur sur le Cap Bouteille, dont la falaise domine le pont du Bras Rouge.
Au-dessus de l'Ilet Bleu, existe probablement une niche d'arrachement.

Une masse glissée a été identifiée dans le secteur du Cap La Rouille, en contre-haut de la route, selon la photo-interprétation. On rappelle à ce sujet le témoignage des ouvriers constructeurs de la route qui dans ce secteur auraient constaté une importante fissure, pouvant correspondre à un flanc de glissement de terrain, peut-être de grande ampleur.

Le versant dominant Ilet à Cordes correspond à une niche d'arrachement ; ce versant pourrait être plus stable que les sites précédents car possédant sa butée de pied (la surface de l'ilet) .

Le versant du Cap Sylvestre, en rive gauche du Bras Sec, jusqu'à l'Ilet du Bonnet Carré est affecté par un vaste mouvement de terrain. L'existence de mares dans ce secteur (Mare à Montfleury, Mare d'Affouches) confirme le caractère actif de ce mouvement. Tous les chicots du Cap Sylvestre se démantèlent continuellement, alimentant des éboulis vifs.

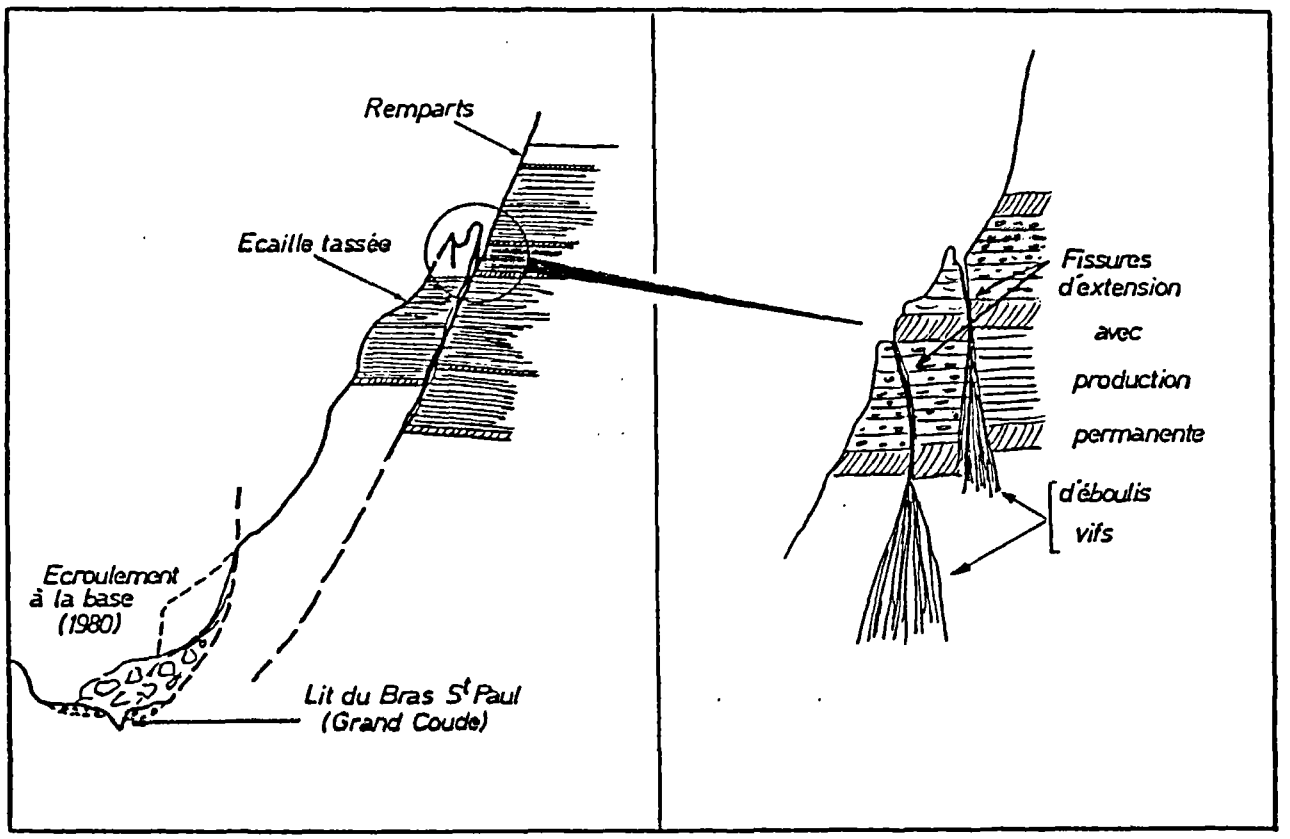
Dans le versant de l'Ilet Gros Galets, entre Palmiste Rouge et Ilet à Calebasse, on distingue plusieurs cicatrices emboîtées qui signalent, selon toute vraisemblance, l'existence de mouvements de versant.

➢ **Les mouvements dans les remparts**

Des morphologies de glissement apparaissent dans des versants de pentes élevées mais non verticales. En effet, dès que la pente est abrupte, les remparts évoluent par rupture de panneaux verticaux (écailles de grande dimension). La rupture se fait selon des plans parallèles aux remparts. On parle, alors, de décrochements dans les remparts.

En 1980, Humbert a identifié un tel phénomène d'éboulement en grande masse dans le Bras de Saint-Paul (figure 6). La plupart du temps, on n'observe pas de rejets au niveau des fissures. Ce type de mouvement, généralement très brutal, se produit à la suite de phénomènes d'érosion du pied de rempart (affouillement par un cours d'eau, une ravine).

Figure 6 : Schéma d'un éboulement en grande masse dans le Bras de Saint-Paul (d'après Humbert et al, 1981)



a
Ecaille tassée

b
Vue rapprochée du sommet de l'écaille

4.2.2 Les affaissements-glissements et les déboulés

Des glissements de terrain[2] se développent à partir des matériaux détritiques constituant les ilets et à partir des formations des séries d'océanites anciennes et récentes qui présentent un début d'argilisation.
Ces phénomènes se révèlent par divers indices d'instabilité tels que fissures, cicatrices, niches d'arrachement, affaissements, soulèvements, morphologies de versant tourmentées.
Dans les terrains concernés, les hétérogénéités de faciès, notamment la superposition de niveaux altérés plutôt imperméables, créent des zones de saturation temporaires capables de développer des surpressions interstitielles. Celles-ci surviennent à la suite de fortes pluies d'autant plus facilement que le substratum constitué de brèches zéolitisées est imperméable. L'eau qui s'infiltre dans les formations détritiques récentes à la surface des ilets se met en charge et génère ainsi des surpressions favorables au déclenchement de glissements de terrain.

Les glissements et les déboulés se localisent sur les bordures des ilets ou plateaux résiduels : lorsque les bordures des ilets glissent, ils donnent naissance à des déboulés. Les matériaux saturés en eau dévalent la pente jusqu'au lit des ravines.

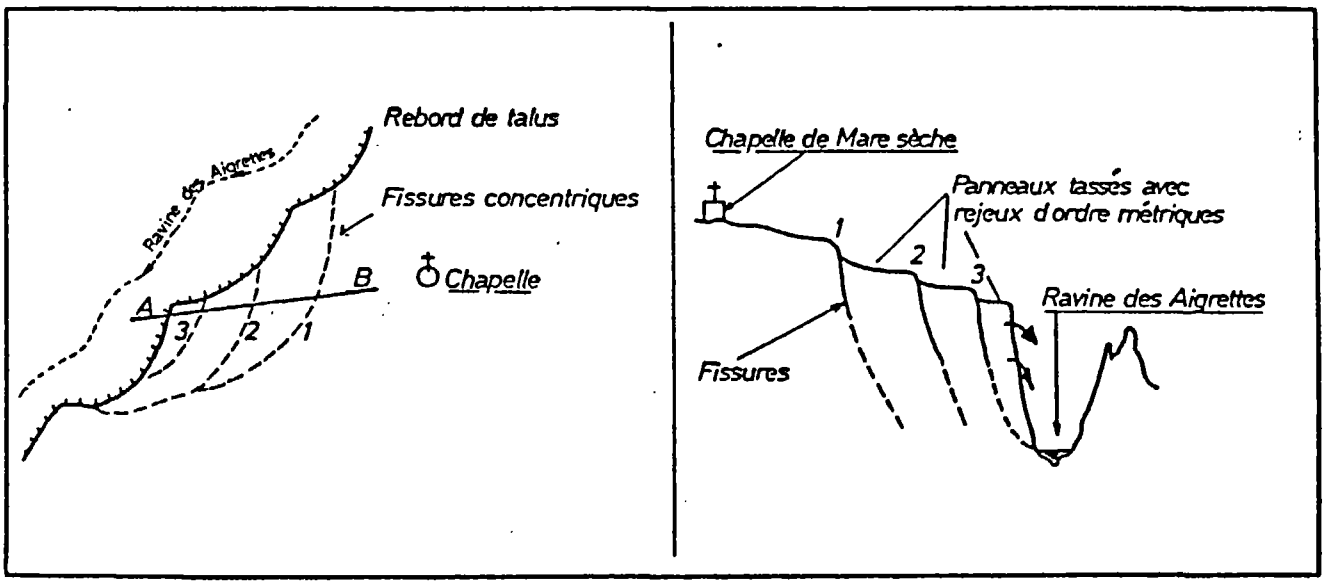
A Mare sèche, lors des fortes pluies associées à la dépression tropicale Hyacinthe (1980), la route a été emportée au-dessus de la Ravine des Aigrettes. Des fissures concentriques avec des rejets verticaux sont apparues en bordure du plateau (figure 7).
Des fissures similaires, d'extension hectométrique avec des rejets verticaux, affectent les bordures du plateau au lieu-dit la Plate-forme. L'enfoncement du Bras de Benjoin déstabilise les versants constitués de matériaux détritiques.

A Ilet Calebasse, à Palmiste Rouge, on peut observer des affaissements des bordures des plateaux. Certains sont actifs (Palmiste Rouge) d'autres sont plus anciens (Ilet à Cordes).

L'une des caractéristiques du Cirque de Cilaos réside dans le fait que les matériaux mobilisés sont peu argileux, si bien qu'en dehors d'événements climatiques exceptionnels, les glissements sont peu actifs, contrairement au Cirque de Salazie où les déformations sont permanentes.

[2] **Glissements :** ces phénomènes intéressent une masse de terrain bien délimitée, avec rupture par défaut de résistance au cisaillement sur une surface le long de laquelle les déformations se localisent. Selon leur nature les matériaux peuvent évoluer en éboulement ou en coulées de boue.

Figure 7 : Fissuration de la bordure du plateau de Mare Sèche suite au passage de la dépression tropicale Hyacinthe en 1980 (d'après Humbert et al, 1981)



a
Vue en plan

b
Vue de profil (A-B)

4.2.3 Eboulements-Chutes de blocs

Les mécanismes à l'origine d'éboulements en masse consistent en un écaillage de parois verticales. Des panneaux peu épais d'échelle métrique se détachent des falaises. Le plan de rupture est parallèle au versant.
Individualisés géométriquement, les blocs ou masses rocheuses sont libérés par gravité si se conjuguent des facteurs de prédisposition (pendage, absence de butée, végétation, etc...) et de déclenchement (coin hydraulique, érosion).

L'enfoncement progressif des lits de ravine favorise l'occurrence de tels phénomènes. De tels événements peuvent se produire à partir de tous les remparts du Cirque de Cilaos, notamment dans le Bras de Saint-Paul. Ils sont permanents dans le Rond du Bras Rouge.

Les reliefs en forme d'arête entre le Gros Morne de Gueule Rouge jusqu'au Bonnet de Prêtre sont très producteurs d'éboulis. Leur démantèlement est continuel : ils alimentent des cônes d'éboulis actifs en bordure de la RN 5, vers Ilet Gueule Rouge.

Des types de mouvements de terrain, mixtes entre glissement et éboulement, peuvent également survenir étant donné l'imbrication des faciès lithologiques.

4.2.4 Erosion des sols

L'érosion des sols se développe lorsque les eaux de pluie, ne pouvant plus s'infiltrer dans les sols, ruissellent sur les pentes en emportant des particules de terre. Ce refus du sol d'absorber les eaux en excédent, apparaît, soit lorsque l'intensité des pluies est supérieure à l'infiltrabilité de la surface du sol, soit lorsque la pluie arrive sur une surface partiellement ou totalement saturée. Ces deux types de ruissellement apparaissent généralement dans des milieux très différents, bien que l'on observe parfois une combinaison des deux. Une fois le ruissellement déclenché, l'érosion peut prendre différentes formes qui se combinent dans le temps et dans l'espace : on distingue, en particulier, l'érosion de versant diffuse ou en rigoles parallèles et l'érosion linéaire ou concentrée de thalweg.

Dans le cirque de Cilaos, toutes les conditions favorisant l'érosion sont réunies expliquant l'aspect de « bad lands » de ses terres qui contraste avec les autres paysages du cœur du massif du Piton des Neiges. Les versants et remparts Nord –Est, plus végétalisés, sont toutefois moins affectés par l'érosion.

Ces facteurs de prédisposition sont :
- les pentes élevées, souvent supérieures à 30 % ;
- la végétation clairsemée, voire absente ;
- l'intensité des précipitations, en particulier en saison cyclonique ;
- la nature friable des terrains à dominante détritique et/ou altérés (hydrothermalisées): les roches friables peuvent être facilement mobilisées par le ruissellement.

4.2.5 Embâcles, coulées boueuses et laves torrentielles

Le phénomène d'embâcle correspond à l'obstruction d'un cours d'eau par accumulation de matériaux divers. Une retenue d'eau se forme à l'amont du barrage naturel qui peut rompre sous l'effet des pressions hydrauliques. Selon le profil du cours d'eau, une rupture brutale peut donner naissance à une onde de crue, avec ou sans transport solide ou à une lave torrentielle dévastatrice : on parle alors de débâcle. Les coulées boueuses et laves torrentielles[3] ont un comportement intermédiaire entre celui des glissements de terrain et des crues. La terminologie est à l'image des phénomènes, variée et complexe. Dans le cirque de Cilaos, les conditions pour que de tels phénomènes surviennent (précipitations abondantes, pentes généralement fortes, terrains meubles) peuvent être réunies, notamment au droit des ravines les plus importantes, même si cela est peu fréquemment le cas.

Plusieurs laves torrentielles se sont produites dans les bassins versants du Cirque, en particulier, dans le Bras des Etangs (événements de 1878, 1948), ce qui aurait impliqué le transfert des thermes de leur position primitive dans la ravine à leur emplacement actuel, dans le Rond de Bras Rouge.

Les prédispositions à la formation de laves torrentielles sont liées aux fortes pentes, à l'encaissement des ravines et à l'abondance de matériaux meubles (éboulis) stockés sur les pentes, au pied des reliefs.

Quelque soient les conditions de site et le type de terrain affecté, la disponibilité d'une très grande quantité d'eau pendant un laps de temps très court est le principal facteur du déclenchement des laves torrentielles.

Ces laves torrentielles peuvent se former dans plusieurs configurations (Rapport BRGM 98 REU 07) :

- lors de phénomènes d'embâcles (exemple du Rond du Bras Rouge). Des éboulements se produisent à partir des flancs des ravines et obstruent le lit du torrent créant un barrage naturel. La quantité d'eau stockée se libère par bouffées successives ;

- lors de très fortes pluies (Bras des Etangs). Les ravines en crue transportent les matériaux accumulés dans le lit.

Les laves torrentielles ont été extrêmement dévastatrices dans cette zone du cirque (ponts détruits, bâtiments emportés).

---

[3] **Coulées boueuses et laves torrentielles :** les coulées boueuses peuvent résulter de l'évolution de phénomènes de reptation ou de glissements affectant des sols argileux. Le matériau de densité élevée est en mesure de transporter des cailloux et blocs rocheux importants, ce qui accentue sa capacité destructrice. Dans un contexte de bassin torrentiel aux pentes instables, la conjonction de matériaux saturés et déstabilisés avec un apport d'eau brutal peut déclencher des laves torrentielles qui progressent très rapidement dans le chenal d'écoulement du torrent sur des distances pouvant dépasser le kilomètre.

L'aléa correspondant aux coulées boueuses et aux laves torrentielles est jugé élevé à très élevé dans le Bras Rouge et toutes les ravines du Cirque et élevé sur les versants bordant les ravines. Il serait utile qu'une évaluation plus précise, tenant compte en particulier des volumes mobilisables par bassin versant, soit conduite ultérieurement.

4.3 CARTE DES ALEAS « MOUVEMENTS DE TERRAIN »

La carte des aléas à l'échelle du 1/25 000 a été établie sur la base de la méthodologie présentée dans le paragraphe 4.1 et des types de mouvements de terrain rencontrés sur la commune (annexe 2, hors texte).

Etant donné l'homogénéité en grand des formations géologiques et de leur degré d'altération, la morphologie s'avère être le critère le plus discriminant. L'aléa « mouvements de terrain » a donc été estimé de façon naturaliste de la manière suivante (tableau 1) :

- l'aléa est considéré comme faible (degré I) dans les zones planes (notamment les planèzes) présentant une extension suffisamment représentative et une pente faible, de moins de 8 ° environ. Dans ces zones, il n'a, de plus, été relevé aucun indice d'instabilité naturelle ;
- les talus, notamment à l'amont des ravines, les planèzes fortement disséquées ou présentant des pentes moyennes modérées (entre 8 ° et 15 °) sont classés en zone d'aléa modéré (degré IIa). Y sont adjoints d'autres secteurs où des indices d'instabilité ont été repérés ;
- l'aléa a été qualifié de moyen (degré IIb) dans les configurations précédentes de degré IIa présentant des pentes plus raides (à partir de 15 ° environ), ainsi que dans les cas où il a été impossible de trancher indubitablement entre un aléa modéré et un aléa fort ;
- les remparts, les versants escarpés (pente de plus de 20 ° environ), les ravines et rivières qui incisent profondément les planèzes ou peuvent constituer un chenal d'écoulement pour des laves torrentielles ou des coulées boueuses sont classés en niveau d'aléa élevé (degré IIIb) ;
- une bande de sécurité (degré IIIa) d'une centaine de mètres de large a été définie au sommet des remparts pour se prémunir d'une évolution régressive, géologiquement inéluctable.

La concentration des eaux souterraines en aval des planèzes est un élément auquel il faut prêter attention et dont il a été tenu compte dans la cartographie de l'aléa « mouvements de terrain » proposée.

5. Enjeux et vulnérabilité

Outre l'inventaire et l'identification des principaux enjeux, le Schéma d'Aménagement Régional (SAR) de la Réunion[4] a été consulté pour situer la commune de Cilaos dans son cadre régional et vis-à-vis des perspectives d'évolution :

5.1 POPULATION

La superficie de la commune est de 8 436 ha., soit une densité moyenne de 0.7 hab/km^2 (source INSEE, 98/99 ; lors du dernier recensement, en 1990, 5856 habitants ont été dénombrés). Toutefois, la répartition est très inégale sur le territoire de la commune puisque la population s'est concentrée sur les ilets et les plateaux :

- de Cilaos et Mare Sèche ;
- de Bras Sec et Ilet Gueule Rouge ;
- d'Ilet à Cordes ;
- de Palmiste Rouge et Ilet à Calebasses ;
- de Peter Both.

Les pentes des ilets isolés sont occupées occasionnellement lors des travaux agricoles.

La population dans le Cirque fluctue en fonction de la fréquentation touristique. On compte un nombre important de gîtes et d'hôtels.

5.2 ELEMENTS EXPOSES

Les éléments exposés (cf. annexe 3, hors texte), outre les informations contenues sur le fond IGN à 1/25 000 sont les suivants :

- les établissements scolaires (9 écoles) ;
- les lieux de culte ;
- les centres de soin ;
- les moyens de sécurité (gendarmerie, centre de secours) ;
- les mairies et annexes ;
- les services touristiques (9 gîtes) ;
- un musée ;
- une salle de cinéma ;
- les bibliothèques (3) ;
- les maisons de jeunes ;
- les complexes sportifs (stade et piscine municipale)
- les points d'Adduction d'Eau Potable (7) ;
- les réservoirs d'eau (8).

[4] le Schéma d'Aménagement Régional de la Réunion a été approuvé par le décret n°95-1169 du 06 novembre 1995.

5.3 LE RESEAU ROUTIER

Le réseau routier principal (tableau 2) se répartit entre la route nationale 5 et les routes départementales 240, 241 et 242. Les voies communales se greffent sur le réseau routier principal et ont vocation de desserte des villages excentrés et des parcelles agricoles.

Routes	Dessertes	Identification dans le SAR
RN 5	De Saint-Louis à Cilaos	Voie primaire d'intérêt régional
RD 240	De la RN 5 à Palmiste Rouge	Voie secondaire d'intérêt régional
RD 241	De Cilaos à Bras Sec	Voie secondaire d'intérêt régional
RD 242	De Cilaos à Ilet à Cordes	Voie secondaire d'intérêt régional

Tableau 2 : Caractéristiques du réseau routier principal desservant le Cirque de Cilaos

5.4 ESPACES URBANISES ET ACTIVITES DE LA COMMUNE

L'économie de la commune repose essentiellement sur le tourisme et l'agriculture.

L'agriculture revêt un caractère artisanal : culture des lentilles, vignobles,...

Outre sa station thermale, l'attrait de la commune repose essentiellement sur son artisanat (broderies, vins) et sur les circuits de randonnée (nombreux circuits dans le cirque et accès au Piton des Neiges).

Si on se réfère au Schéma d'Aménagement Régional, le village de Cilaos a une vocation de station touristique et le village de Palmiste Rouge correspond à un bourg rural à structurer.

5.5 ESPACES AGRICOLES ET MILIEU NATUREL

Selon le Schéma d'Aménagement Régional, la commune de Cilaos comprend :

- des espaces à vocation agricole sur les pourtours des ilets-plateaux ;
- des espaces à vocation naturelle, étendus à toutes les pentes des ravines encaissées ;
- des espaces naturels de protection forte qui couvrent la périphérie du cirque.

D'autre part, des Zones Naturelles d'Intérêt Ecologique, Floristique et Faunistique (ZNIEFF) ont été répertoriées par la DIREN à Cilaos. Elles sont, pour la plupart, intégrées dans les espaces naturels de protection forte du SAR. Des ZNIEFF de type I ont été identifiées sur la zone de reliefs de Gros Morne, de Gueule Rouge et de Grand Piton.

Une grande partie de la commune est gérée par l'ONF.

6. Conclusion

La cartographie de l'aléa « mouvements de terrain » (annexe 2, hors texte), juxtaposée aux enjeux répertoriés (annexe 3, hors texte), permet l'identification d'un certain nombre de risques et conduit à proposer des actions à engager. Ces aspects sont détaillés par unités géographiques de risque grâce à des fiches récapitulatives (annexe 1, dans le texte).

6.1 MENACES AUX BIENS ET AUX INFRASTRUCTURES

Des risques ont été identifiés lorsqu'il y a conjonction d'un aléa moyen ou élevé avec des enjeux. Le niveau de risque a été fixé en regard du niveau d'aléa et de la nature des éléments exposés. Il s'agit donc d'un état actuel qui évoluera en fonction des nouvelles implantations ou aménagements.

Les habitations

On attribue un niveau de **risque fort** à un secteur donné lorsque des habitations sont situées dans des zones d'aléa élevé (III). C'est le cas, en particulier, des secteurs suivants :

- bordures du plateau de Cilaos ;
- Palmiste rouge, habitations situées soit en bordure aval du plateau soit au débouché des ravines ;
- Bras Sec (pied de versant) ;
- Mare sèche ;
- Ilet Gueule Rouge.

Les dispositions à prendre (évacuation permanente ou temporaire) pour les habitations concernées devront être appréciées au cas par cas en tenant compte de la fragilité des bâtiments, des accès et des situations de danger potentiel.
Le danger peut survenir à la suite de très fortes pluies ou dès l'apparition de ruissellement pour des pluies de moyenne intensité pour des habitations situées dans des ravines. Il est quasi-permanent dans le cas de glissements déclarés.

Un risque moyen est affiché pour toutes les zones d'aléa modéré au sein desquelles se trouvent des habitations.

Le réseau routier

Depuis que le cirque est habité, des problèmes d'accès et de circulation ont été rencontrés. Lors de phénomènes climatiques exceptionnels (par exemple, Hyacinthe en 1980), la route nationale 5 ou la route départementale 241 est coupée, parfois emportée.

Les voies de communications soumises à un aléa très élevé sont :

- la RN 5 exposée sur pratiquement tout son tracé depuis le Pavillon jusqu'à Mare Sèche ;
- la RD 242 route menant de Cilaos-bourg à Ilet à Cordes ;
- la route de Palmiste Rouge et d'Ilet Calebasse ;
- la route de Bras Sec, moins exposée ;
- la piste bétonnée d'Ilet à Gueule Rouge.

6.2 ACTIONS A ENGAGER

Pour réduire le risque de mouvements de terrain, des dispositions sont à prendre. Elles concernent :

- l'évaluation des aléas ;
- les situations de danger ;
- l'aménagement futur ;
- les mesures de protection.

6.2.1 Evaluation des aléas

La présente cartographie, à relativement petite échelle, devra être amendée et précisée en cas de volonté de la Puissance Public de réaliser, au moins sur une partie de la commune, des Plans de Prévention des Risques naturels prévisibles (P.P.R.) concernant les mouvements de terrain. En effet, dans les zones d'enjeux importants, ces documents nécessitent souvent la précision du 1/10 000 voire du 1/5 000, **qui ne peut et ne doit pas se contenter de l'agrandissement des cartes du présent document.**

Par ailleurs, avec la méthode adoptée, les zones d'aléa de degré « IIb » correspondent parfois à une indétermination par défaut d'arguments. Il est alors opportun (indispensable en cas de nouveau projet) de chercher à préciser le diagnostic initial par plusieurs types d'actions, en fonction des enjeux existants ou des projets d'aménagement :

- analyse cartographique détaillée ;
- surveillance de la zone dans le cas de mouvement déclarés ;
- évaluation des mesures de sauvegarde et de protection du site.

Sur ces secteurs, toute apparition de désordres devra être signalée aux autorités pour évaluer la situation de danger.

6.2.2 Situations de danger

La confrontation de la carte des aléas et de celle des enjeux montrent qu'une partie de la population vit dans des secteurs classés en niveau d'aléa fort (IIIa ou IIIb). Un diagnostic plus approfondi devra être fait relativement aux enjeux existants afin de se prononcer sur la gravité du danger vis-à-vis des vies humaines. Toutes les solutions permettant de gérer une situation de danger devront être examinées, à savoir :

- les mesures de protection et de sauvegarde envisageables ;
- les possibilités d'évacuation temporaire au regard des circonstances de temps et de lieu dans lesquelles le phénomène naturel est susceptible de se produire ;
- les possibilités de surveillance pour apprécier l'imminence des phénomènes.

6.2.3 Aménagements futurs

Sur les secteurs constructibles d'aléa modéré « IIa », on pourra procéder à un examen plus détaillé de la zone à une échelle compatible avec le Plan d'Occupation des Sols (échelle 1/2000ème, par exemple), en mettant en œuvre une étude géotechnique particulière. Cette démarche aura pour objectif de :

- délimiter les zones les plus favorables à la construction ;
- fixer les dispositions constructives (terrassements limités, soutènements, maîtrise des eaux, etc.).

6.2.4 Protection et lutte contre l'érosion

Elle devra s'appliquer dans les secteurs à fortes pentes, afin de limiter notamment les phénomènes d'érosion et de ruissellement. Elle concerne :

- l'agriculture (le défrichement des sols pour l'extension des cultures et les pratiques culturales) ;
- les aménagements au sens large, lors de la réalisation de nouvelles infrastructures.

L'eau étant un facteur aggravant de première importance dans le déclenchement des mouvements de terrain, il apparaît nécessaire que toutes les eaux de la voirie communale soient maîtrisées, en particulier dans le cadre des nouveaux aménagements (création de nouvelles pistes ou de routes). Beaucoup de dégâts causés par des mouvements de terrain, résultent d'une mauvaise maîtrise des eaux, voire d'une absence de collecteurs d'eau.

7. Bibliographie

Bargeas A. (1984) - Evaluation globale de la ressource en eau de l'Ile de la Réunion. Apports de la simulation par modèles hydrologiques. Rapport BRGM 84 SGN 232 EAU.

Billard G. (1975) - Carte géologique à l'échelle du 1/50 000 de la Réunion en 4 feuilles + notice explicative. *Ed. BRGM.*

Chevallier L. (1979) - Structures et évolution du volcan du Piton des Neiges - Leurs relations avec les structures du bassin des Mascareignes. Thèse 3ème cycle, Grenoble, 178 p.

INSEE (1994) - Tableau Economique de la Réunion. *Ed. INSEE,* Saint-Denis.

Kieffer G. (1990) – Evolution dynamique et structurale récente du Piton des Neiges. *In* Le volcanisme de la Réunion – Monographie – J.F. Lenat Editeur. *Ed. Centre de Recherches Volcanologiques*, Clermont-Ferrand, pp. 163-186.

Rançon J.Ph. (1982) - Contribution à l'étude des minéralisations hydrothermales liées à un système géothermique récent dans l'Ile de la Réunion. Thèse de 3ème cycle. Université de Paris XI (Orsay), 225 p.

Rapport BRGM 81 SGN 543 (1981) - Les risques géologiques dans les cirques de Salazie et de Cilaos (Ile de la Réunion).

Rapport BRGM 84 REU 08 (1984) - Evaluation des risques liés aux coulées boueuses issues du Rond du Bras Rouge (Cirque de Cilaos).

Rapport BRGM 85 REU 05 (1985) - Reconnaissance géologique du Rond du Bras Rouge - mars 1985 - Evaluation des risques liés aux coulées boueuses pour le pont du Bras Rouge (Route Cilaos - Ilet Cordes).

Rapport BRGM 95 REU 37 (1995) – Risques géologiques à la Réunion : les mouvements de terrain. Orientation en matière de prévention et de gestion des risques.

Rapport BRGM 95 REU 44 (1995) - R.D. 242 Rampes des Thermes (Cilaos). Diagnostic géologique sur la fissuration de la route. Evaluation des actions engager.

Rapport BRGM 98 REU 07 (1998) - Mouvements de terrain sur le tronçon routier Cilaos - Ilet à Cordes (R.D. 242) (Cirque de Cilaos). Contexte physique et bilan des connaissances.

Annexes

Annexe 1 (dans le texte) - Fiches récapitulatives des unités géographiques de la commune de Cilaos

Annexe 2 (hors texte) - Zonage des mouvements de terrain par types et niveaux d'aléa (échelle 1/25 000)

Annexe 3 (hors texte) - Cartographie informative des zones à risques en fonction des principaux enjeux répertoriés (échelle 1/25 000)

ANNEXE 1

Fiches récapitulatives des unités géographiques de la commune de Cilaos

FICHE « UNITE RISQUE »

Commune : **Cilaos**	Unité géographique : **Peter Both**
Bassin de risque : **BR 9 (Rivière Saint-Etienne)**	N° identification : **1 / 6**

Description de l'unité

Milieu physique	*Entrée du cirque : zone de confluence des ravines (Bras de Cilaos, Bras de Benjoin, Bras Rouge, Bras de Saint-Paul)* *Versant oriental du relief de Cap Noir (Peter Both)*
Description des phénomènes et des aléas	*Ravinement et érosion des pentes : chutes de blocs, petits éboulements, coulées de boue, Enfoncement des lits de ravines* *Eboulements sur les flancs des ravines (Benjoin, Petit Bras de Cilaos)*
Evénements marquants	*Mouvements permanents au niveau de la route de Cilaos (RN5)* *Alluvionnement au niveau de la prise d'eau* *1948 : RN5 coupée et creusement du tunnel de Peter Both* *1949 : ancien sentier du Cap Noir détruit par l'érosion continue des versants*
Activités et principaux enjeux	*Village de Peter Both* *Prise d'eau du Pavillon*
Accessibilité	*Par la RN5 depuis Saint Louis*
Risques identifiés	*Habitations de Peter Both* *RN5 (éboulement, coulées de boue, affaissement de la chaussée)*
Mesures prises	*Modifications du tracé de la RN5* *Soutènement de la chaussée*
Actions et recommandations	*Reboisement des versants (lutte contre l'érosion),* *Zonage de la zone de Peter Both en vue de la maîtrise des constructions* *Poursuivre l'amélioration du tracé routier de la RN 5 (seule voie d'accès au Cirque)*

FICHE « UNITE RISQUE »

Commune : **Cilaos**	Unité géographique **Palmiste Rouge Ilet Calebasse**
Bassin de risque : **BR 9 (Rivière Saint-Etienne)**	N° identification : **2 / 6**

Description de l'unité

Milieu physique	*Mini-cirque délimité par le Gros Morne de Gueule Rouge, le Grand Piton et le rempart du Calumets sous le Dimitile (2200 m).* *Drainé par la ravine des Calumets et la ravine Martin* *Présence de mares sèches à Ilet Calebasse*
Description des phénomènes et des aléas	*Glissements-tassements des plateaux (déboulés aval)* *Eboulements de Gueule Rouge* *Glissements actifs d'Ilet Gros Galet* *Affouillements de la ravine des Calumets et de la ravine Martin*
Evénements marquants	*1980 (dépression Hyacinthe) : fissures sur la bordure aval du plateau de Palmiste Rouge, maisons évacuées, portion du terrain de sport emportée pendant Hyacinthe* *Eboulements sur la RN5 sous le relief de Gueule Rouge et à la sortie du tunnel de Peter Both* *Chutes de blocs sur la roue d'Ilet Calebasse*
Activités et principaux enjeux	*Village de Palmiste Rouge (tourisme)* *14 familles à Ilet Calebasse* *Vignobles à Ilet Calebasse*
Accessibilité	*Depuis la RN 5 entre les deux tunnels (Peter Both et Gueule Rouge), par la route départementale n° 240* *Route communale entre Palmiste Rouge et Ilet Calebasse.*
Risques identifiés	*Habitations menacées en bordure aval du plateau de Palmiste Rouge* *Habitations dans le lit de la ravine Martin* *Routes d'accès menacées par les éboulements du Gros Morne de Gueule Rouge* *Route d'accès à Ilet Calebasse.* *Habitations au pied des reliefs de Grand Piton*
Mesures prises	
Actions et recommandations	*Déplacement des populations menacées* *Délimitation à l'échelle 1/2000 des zones exposées* *Reboisement des pentes soumises* *Suivi des affouillements des ravines*

FICHE « UNITE RISQUE »

Commune : **Cilaos**	Unité géographique **Cilaos – Mare sèche**
Bassin de risque : **BR 9 (Rivière Saint-Etienne)**	N° identification : **3 / 6**

Description de l'unité

Milieu physique	*Plateau central comprenant plusieurs secteurs : La Plate-Forme, Mare Sèche, Les Etangs et entaillé par des ravines encaissées (Bras de Benjoin)*
Description des phénomènes et des aléas	*Glissement de toutes les bordures du plateau dominant le Bras des Etangs* *Affaissement au niveau des plateaux* *Ecroulement du Plateau des Chênes* *Sources thermales emportées à plusieurs reprises par des laves torrentielles*
Evénements marquants	*1870 : vidange soudaine de la Mare Sèche avec coulée de boue à l'aval* *1948 : glissement de la bordure du plateau dominant le Bras de Benjoin (chemin et cultures emportés)* *1980 (Hyacinthe) : RN 5 emportée à Mare Sèche sur 400 mètres de longueur (glissement de 50 000 m^3) ; cases emportées* *Fissures actives vers La Plate-forme et Mare Sèche*
Activités et principaux enjeux	*Village, Station thermale, activité touristique (randonnées en montagne)* *Activité agricole, artisanat* *Collège, école, gendarmerie,*
Accessibilité	*Par la RN5 depuis la Rivière Saint-Louis*
Risques identifiés	*Habitations en bordure de plateau* *Route d'accès exposée à de nouveaux glissements (enfoncement du Bras de Benjoin)*
Mesures prises	*Seuils dans le Bras des Etangs, Canal des Gendarmes* *Endiguement du Bras des Etangs* *Canal des Gendarmes : drainage de la mare de Cilaos*
Actions et recommandations	*Travaux de correction torrentielle du Bras des Etangs, du Bras de Benjoin* *Drainage du plateau* *Suivi de l'évolution des flancs*

FICHE « UNITE RISQUE »

Commune : **Cilaos**	Unité géographique **Bras Sec** **Ilet de Gueule Rouge**
Bassin de risque : **BR 9 (Rivière Saint-Etienne)**	N° identification : **4 / 6**

Description de l'unité

Milieu physique	*Ilets en bordure de rempart : Bras Sec, Cap Sylvestre et Bonnet de Prêtre, Gueule Rouge, Bonnet Carré* *Présence de mares (Montfleury, Affouches)* *Panneau basculé en pied de rempart*
Description des phénomènes et des aléas	*Eboulement des remparts et des reliefs* *Glissement de panneau (Cap Sylvestre) : mouvements de versants de grande ampleur* *Erosion des terres* *Enfoncement du Bras de Benjoin*
Evénements marquants	*Glissement de terrain au Cap Sylvestre ayant emporté la route qui relie la RN5 à Bras Sec en 1980*
Activités et principaux enjeux	*Village de Bras Sec (gîtes)* *Nombreuses habitations en bordure du chemin de Gueule Rouge* *Forêt de la Mare à Joseph*
Accessibilité	*Par la RD 241 depuis Cilaos* *Chemin bétonné de Bras Sec à Gueule Rouge*
Risques identifiés	*Habitations exposées aux éboulements des reliefs Est à Bras Sec* *Habitations de Gueule Rouge* *RN5 exposée aux glissements du Cap Sylvestre et aux chutes de blocs*
Mesures prises	
Actions et recommandations	*Examen des situations de danger (Bras Sec, Gueule Rouge)* *Correction torrentielle sur le Bras de Benjoin* *Forêt de protection des versants dominant la RN 5*

FICHE « UNITE RISQUE »

Commune : **Cilaos**	Unité géographique **Ilet à cordes**
Bassin de risque : **BR 9 (Rivière Saint-Etienne)**	N° identification **5 / 6**

Description de l'unité

Milieu physique	*Plateau d'Ilet à Cordes entaillé par le Bras Rouge et le Bras de Saint-Paul et la ravine de Camp de Puces* *Formations d'épandage au pied des remparts* *Nombreux ilets adossés au rempart*
Description des phénomènes et des aléas	*Glissement des bordures des ilets* *Eboulements et écroulements à partir du rempart*
Evénements marquants	*1948 et 1980 : glissements en rive droite du Bras Rouge (aval de la ravine Camp de Puces) : barrage temporaire avec formation de retenue d'eau* *1848 (1849) : écroulement du rempart au Grand Serré (barrage de 100 mètres de haut)*
Activités et principaux enjeux	*Village de Ilet à Cordes* *Cultures artisanales : vignes, lentilles*
Accessibilité	*Par la route départementale n° 242*
Risques identifiés	*Route d'accès très exposée, susceptible d'être emportée (risque d'isolement fréquent)*
Mesures prises	
Actions et recommandations	*Ne pas implanter de nouvelles constructions sur les bordures du plateau d'Ilet à Cordes.* *Surveiller le comportement des ravines adjacentes, en particulier après les crues.* *Plan de gestion des crises à élaborer en raison de l'isolement du village en période cyclonique.*

FICHE « UNITE RISQUE »

Commune : **Cilaos**	Unité géographique : **Rond de Bras Rouge**
Bassin de risque : **BR 9 (Rivière Saint-Etienne)**	N° identification **6 / 6**

Description de l'unité

Milieu physique	*Flanc sud du Piton des Neiges* *Versants abrupts entaillés par l'érosion*
Description des phénomènes et des aléas	*Eboulement fréquent dans le Rond de Bras Rouge et au niveau des falaises* *Mouvement de versant de grande ampleur* *Laves torrentielles fréquentes dans les ravines* *Chutes de pierres et érosion des versants*
Evénements marquants	*En 1982 : laves torrentielles du Rond de Bras Rouge (pont de la RD 242 emporté)* *1948 : écroulement d'un panneau sous le Grand Bénard emportant le sentier* *1980 : écroulement de grande ampleur en rive gauche du Bras Rouge*
Activités et principaux enjeux	*R.D 242 et sentier de grande randonnée (Col du Taïbit)* *Zone naturelle* *Quelques cases occupées occasionnellement*
Accessibilité	*Par la RD 242 construite en 1960*
Risques identifiés	*Ponts sur les principales ravines* *Routes vulnérables*
Mesures prises	*Surveillance des cours d'eau notamment du Bras Rouge*
Actions et recommandations	*Programme de reboisement* *Surveillance des versants*

Ministère de l'Economie, des Finances et de l'Industrie

REGION REUNION

Evaluation et Cartographie de l'aléa "mouvements de terrain" à l'échelle 1/ 25 000 sur la commune de Cilaos

Annexe 2 : Zonage des mouvements de terrain par types et niveaux d'aléa.

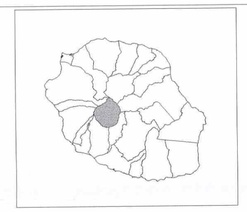
Localisation des phénomènes historiques et nouvellement recensés.

Rapport BRGM
R 40578 98 REU 35

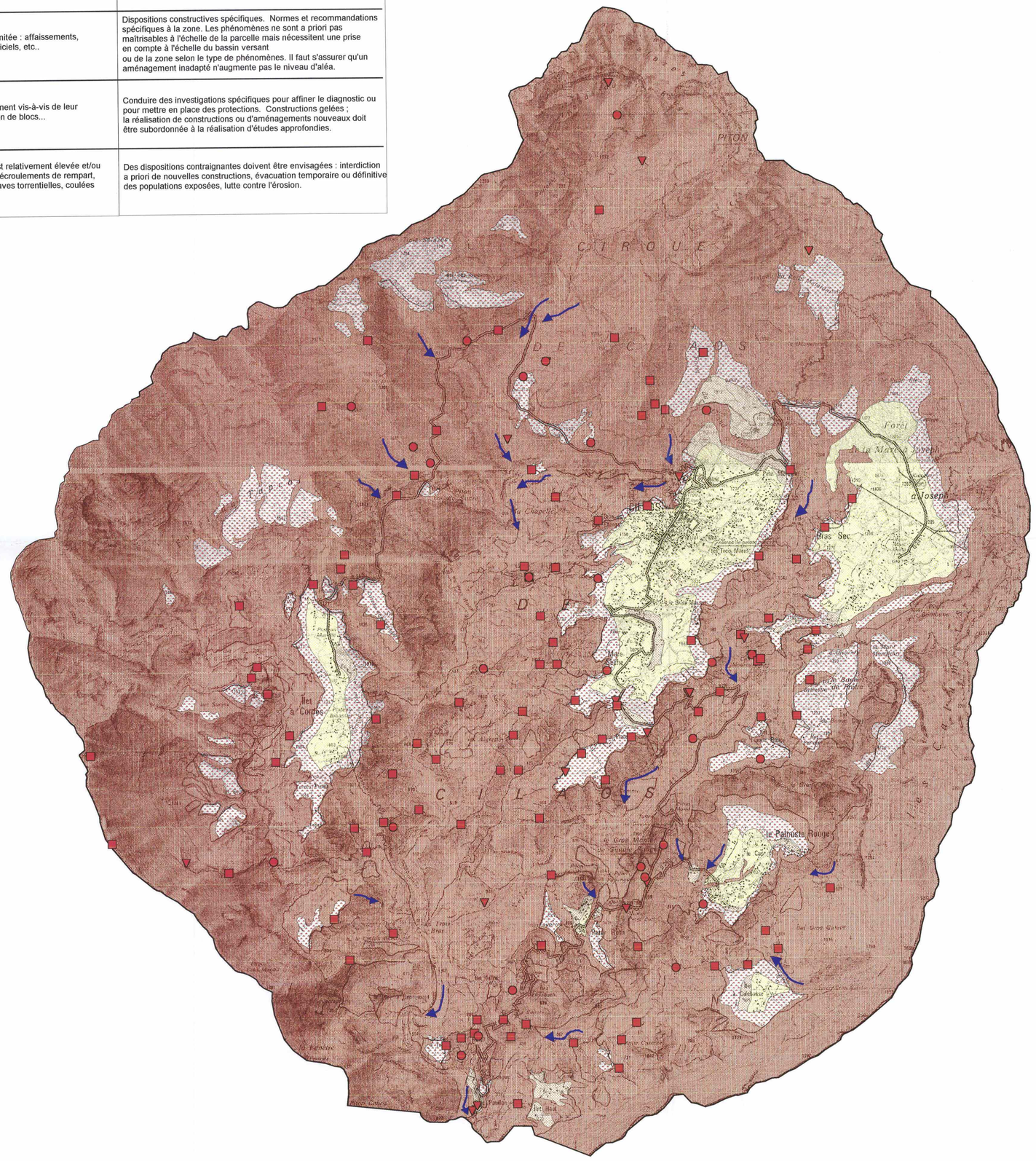
BRGM
L'ENTREPRISE AU SERVICE DE LA TERRE

mars 1999

BRGM - SGR/REU - BP 906 - 97484 Saint Denis Cedex



Niveau d'aléa	Description des phénomènes	Recommandations
Faible (I)	Pas de mouvements de terrain recensés ou événements de faible ampleur, rares, sans gravité, liés à des conditions climatiques extrêmes (cyclone) tels que ravinements superficiels, instabilités de talus.	En général, ces phénomènes sont maîtrisables par des moyens simples mis en oeuvre à l'échelle de la parcelle : fossés revêtus, soutènement de talus, endiguement des petites ravines... Applications des Normes et Recommandations applicables sur l'ensemble de l'île.
Modéré (IIa)	Phénomènes connus d'ampleur limitée : affaissements, affouillements, glissements superficiels, etc..	Dispositions constructives spécifiques. Normes et recommandations spécifiques à la zone. Les phénomènes ne sont a priori pas maîtrisables à l'échelle de la parcelle mais nécessitent une prise en compte à l'échelle du bassin versant ou de la zone selon le type de phénomènes. Il faut s'assurer qu'un aménagement inadapté n'augmente pas le niveau d'aléa.
Moyen (IIb)	Phénomènes mal connus, notamment vis-à-vis de leur ampleur : glissements, propagation de blocs...	Conduire des investigations spécifiques pour affiner le diagnostic ou pour mettre en place des protections. Constructions gelées ; la réalisation de constructions ou d'aménagements nouveaux doit être subordonnée à la réalisation d'études approfondies.
Elevé (III)	Phénomènes dont la fréquence est relativement élevée et/ou l'ampleur très importante, tels qu' écroulements de rempart, glissements de grande ampleur, laves torrentielles, coulées de boue, érosion littorale.	Des dispositions contraignantes doivent être envisagées : interdiction a priori de nouvelles constructions, évacuation temporaire ou définitive des populations exposées, lutte contre l'érosion.



N

0 500 1000

mètres

LEGENDE

MOUVEMENTS DE TERRAIN

PHENOMENES HISTORIQUES RECENSES
(Base de données du BRGM-REUNION)

- Chute de blocs-éboulement
- Erosion de berge
- Glissement-reptation

TYPES ET NIVEAUX D'ALEA

- I : ravinements (niveau d'aléa faible)
- IIa : glissements (niveau d'aléa modéré)
- IIb : glissements / propagation de blocs (niveau d'aléa moyen)
- III : glissements et éboulements sur pentes d'encaissement (niveau d'aléa élevé)
- IIIe : éboulements de rempart (niveau d'aléa élevé)
- Axe de ravine exposé aux laves torrentielles

Ministère de l'Economie,
des Finances et
de l'Industrie

REGION REUNION

Evaluation et cartographie de l'aléa "mouvements de terrain" à l'échelle du 1/ 25 000 sur la commune de Cilaos

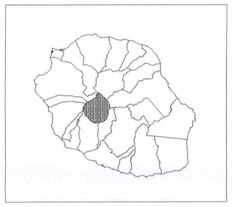
Annexe 3 : Cartographie informative des zones à risque en fonction des principaux enjeux répertoriés

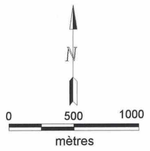
Rapport BRGM
R 40578 98 REU 35

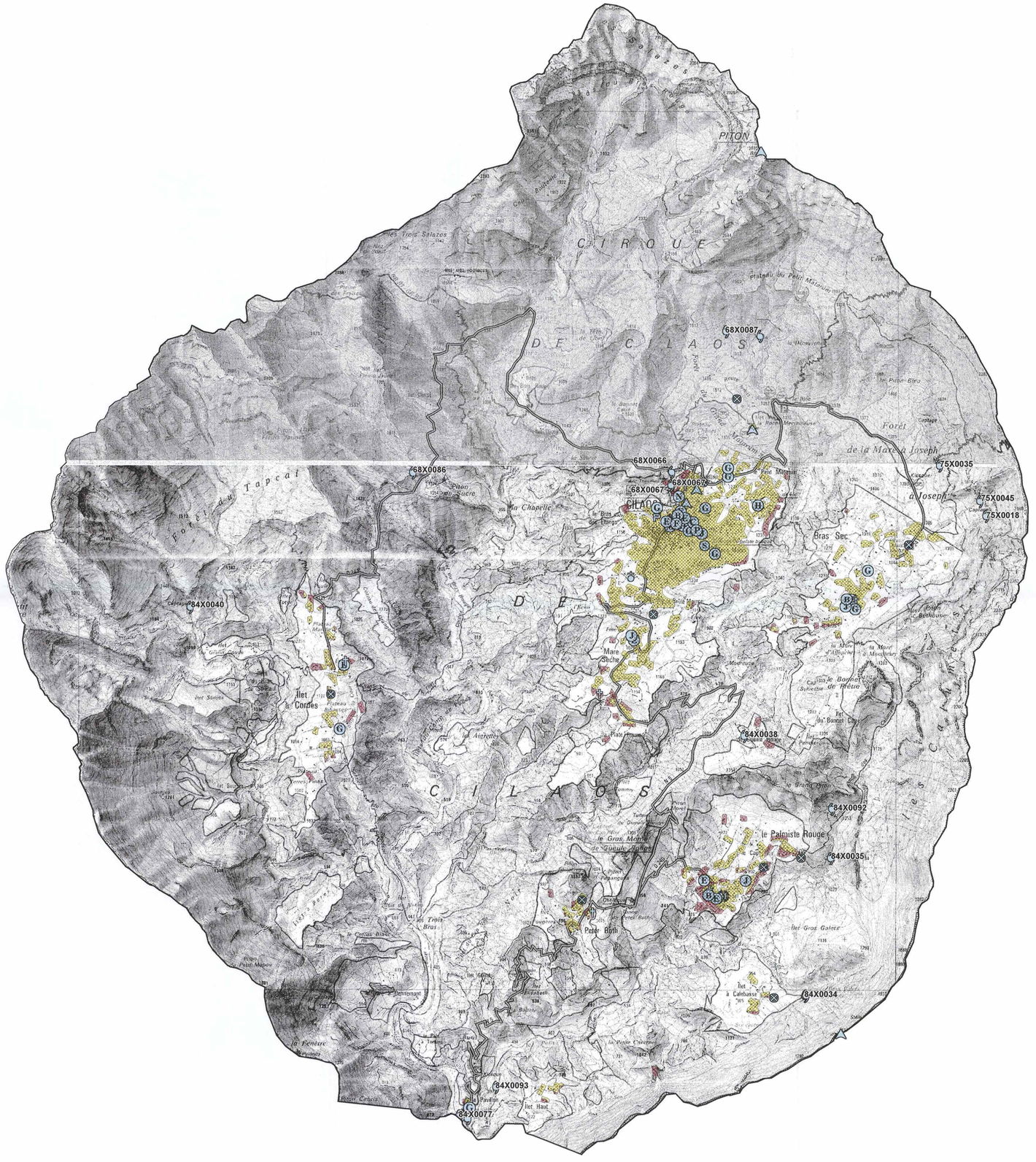
BRGM
L'ENTREPRISE AU SERVICE DE LA TERRE

mars 1999

BRGM - SGR/REU - BP 906 - 97484 Saint Denis Cedex






CIRQUE
DE CILAOS
PITON
Piton des Neiges
Piton des Trois Salazes
Piton Sucre
Piton Textor
Piton Bleu
Piton Mahavel
Piton Cabris
Piton Pavillon
Piton Papou
Piton Dumas
Piton Cabris
Piton Cabris
Piton Cabris

BRGM
Service géologique régional océan Indien
5 rue Sainte Anne, B.P. 906 - 97478 Saint-Denis Cedex - Tél. : 21.22.14 - Fax : 21.86.96