

FONDS D'INVESTISSEMENT DES DÉPARTEMENTS D'OUTRE-MER

(F.I.D.O.M.)

DÉPARTEMENT DE LA RÉUNION

**LES RISQUES GÉOLOGIQUES
DANS LES CIRQUES DE SALAZIE ET DE CILAOS**

(Ile de la Réunion)



BUREAU DE RECHERCHES GÉOLOGIQUES ET MINIÈRES

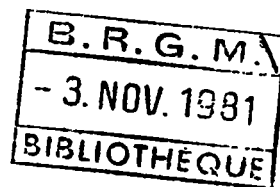
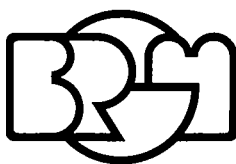
SERVICE GÉOLOGIQUE NATIONAL

**FONDS D'INVESTISSEMENT DES DÉPARTEMENTS D'OUTRE-MER
(F.I.D.O.M.)
DÉPARTEMENT DE LA RÉUNION**

**LES RISQUES GÉOLOGIQUES
DANS LES CIRQUES DE SALAZIE ET DE CILAOS
(Ile de la Réunion)**

par

M. HUMBERT - R. PASQUET - L. STIELTJES



BUREAU DE RECHERCHES GÉOLOGIQUES ET MINIÈRES

SERVICE GÉOLOGIQUE NATIONAL

B.P. 6009 - 45060 Orléans Cedex - Tél.: (38) 63.80.01

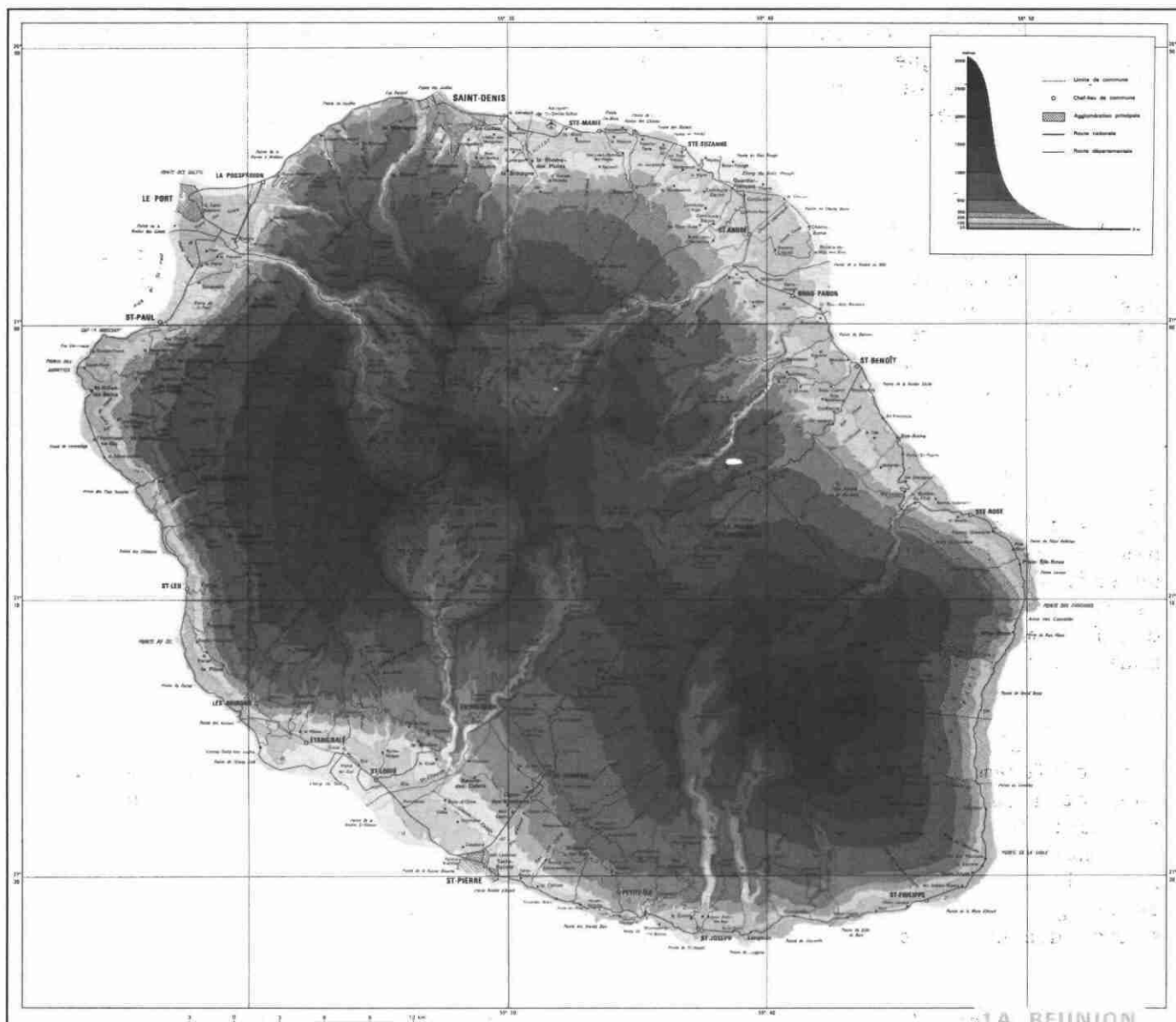
**Département génie géologique
B.P. 6009 - 45060 Orléans Cedex
Tél.: (38) 63.80.01**

**Service géologique régional
LA RÉUNION
B.P. 1206 - 97484 Saint-Denis Cedex
Tél.: (262) 21.44.54**

Rapport du B.R.G.M.

81 SGN 543 ~~REU~~ - REU

Octobre 1981



RESUME

La cartographie des risques géologiques dans les cirques de Salazie et de Cilaos a été prise en charge par le FIDOM (Fonds d'Investissement des départements d'Outre-Mer) sur un crédit exceptionnel mis en place après le cyclone "Hyacinthe" (janvier 1980).

Cette étude sur les 2 cirques constitue le premier volet de l'étude générale des risques de mouvements naturels du sol et du sous-sol pour l'ensemble de l'île de la Réunion, qu'il est prévu d'étaler sur 3 ans et qui abordera conjointement les risques de mouvements de terrains et les risques volcaniques.

Le contenu de l'étude, résultats d'une analyse détaillée (archives, photo aériennes, enquêtes orales, observations et levés de terrain...) apporte une connaissance nouvelle à l'évolution ancienne et récente des cirques à la Réunion. On ne pouvait pas expliquer les mécanismes actuels de l'érosion, dans ces secteurs particulièrement vulnérables que sont les cirques de Salazie et de Cilaos, sans faire une mise au point sur la géologie et le cadre environnant, à la lumière des importants travaux réalisés ces dernières années (géothermie, volcanisme, ...).

Les événements spectaculaires de janvier 1980 ont offert un champ d'observation très vaste qu'il était urgent d'étudier puisqu'il a révélé deux grands types d'érosion liée à l'eau. Ainsi les effets les plus visibles, mais pas obligatoirement les plus néfastes, ont été créés par le cheminement des eaux superficielles (ruissellement, ravinement, alluvionnement rapide, inondation...). En revanche l'eau souterraine, qui a saturé de nombreux terrains, a manifestement provoqué les plus gros dégâts (glissement de terrain, coulée boueuse, tassement et écroulement en grand...).

L'analyse sectorielle détaillée révèle que l'érosion dans les cirques agit différemment selon les grands traits du relief et des structures géologiques et l'on propose un découpage des cirques en quatre grandes zones. En distinguant les remparts et leurs bordures, les grands îlets, les massifs (piton d'Enchaing, cap Noir...) et les fonds des grandes vallées (rivière du Mât, bras Saint Paul...), chaque type de risque lié à l'érosion est replacé dans son contexte géographique et économique (aménagement des îlets, protection des versants, drainage des cours d'eau...).

Après avoir défini les risques encourus dans certains secteurs par les effets de l'érosion liés aux crises cycloniques et dans une moindre mesure aux périodes de pluies normales, il était utile, en guise de conclusion, de rappeler les principales dispositions à prendre pour se protéger, ou tout au moins contrôler cette érosion et ses dangers (murets, radiers, drainage...).

L'étude est illustrée par une carte des formes de l'érosion à 1/25 000 et un tableau récapitulatif évoquant les traits essentiels des zones de risque et les mesures prioritaires (surveillance, travaux, ...) qu'ils seraient souhaitables de prendre.

SOMMAIRE

pages

PREAMBULE

INTRODUCTION

CHAPITRE I - CADRE DE L'ETUDE

1 - TRAITS GEOGRAPHIQUES ET GEOLOGIQUES ESSENTIELS DE LA REUNION	5
1.1 - GEOGRAPHIE, CLIMATOLOGIE	5
1.2 - CADRE GEOLOGIQUE	5
1.3 - HYDROGRAPHIE	10
1.4 - HYDROGEOLOGIE	10
2 - LES STRUCTURES D'EFFONDREMENT, D'EROSION, ET LES MATERIAUX DE FOND DES CIRQUES	12
3 - OCCUPATION DU SOL ET DEVELOPPEMENT	23

CHAPITRE II - LES FORMES DE L'EROSION

1 - PRINCIPAUX FACTEURS DE L'EVOLUTION ACTUELLE DES CIRQUES	27
2 - EROSION LIEE AU CHEMINEMENT DES EAUX SUPERFICIELLES	28
2.1 - EROSION PLUVIALE	29
2.2 - RUISSELLEMENT	29
2.3 - RAVINEMENT - CHUTE DE PIERRES ET DE BLOCS	29
2.4 - ALLUVIONNEMENT RAPIDE - INONDATION	31
3 - EROSION LIEE AUX MOUVEMENTS DE MASSE ET A L'EAU SOUTERRAINE	32
3.1 - MOUVEMENTS RECENTS ET ACTUELS	33
3.2 - MOUVEMENTS ANCIENS DE GRANDE AMPLEUR	41
4 - GRANDES UNITES MORPHOLOGIQUES D'EROSION (remparts, îlets, massifs vallées)	41
5 - CARTE DES FORMES DE L'EROSION RECENTE ET CARACTERISTIQUES DES ZONES DE RISQUE	43

CHAPITRE III - LE CIRQUE DE SALAZIE

1 - LES REMPARTS ET LEURS BORDURES	47
1.1 - LA BORDURE MERIDIONALE : GRAND PLATEAU, ROND DE LA RIVIERE DU MAT, TERRE PLATE	47
1.2 - LA BORDURE OCCIDENTALE : GRAND SABLE, LE BELIER, CASABOIS	48
1.3 - LA BORDURE SEPTENTRIONALE DE LA ROCHE ECRITE AU CAP PICARD	49
1.4 - LA BORDURE ORIENTALE, DE SALAZIE A HELL BOURG	50
2 - LES GRANDS ILETS	50
2.1 - ILET ROCHE A JACQUOT, MARE A MARTIN ET BE CABOT	51
2.2 - GRAND ILET	52
2.3 - MARE A VIEILLE PLACE, MARE A CITRONS, MARE A GOYAVES	53
2.4 - ILET A VIDOT, HELL BOURG, MARE A POULE D'EAU	55
2.5 - MARE D'AFFOUCHES	57
2.6 - CAMP DE PIERROT ET LE BELIER	58
3 - LE PITON D'ENCHAING	58
4 - LES FONDS DE VALLEE	59
4.1 - LA RIVIERE DES FLEURS JAUNES	60
4.2 - LA RIVIERE DU MAT	60
5 - L'ENTREE DU CIRQUE	61
5.1 - LE PREMIER SECTEUR	62
5.2 - LE SECTEUR DES GORGES	62
5.3 - DANS LE DERNIER SECTEUR	63

CHAPITRE IV - LE CIRQUE DE CILAOS

1 - LES REMPARTS ET LES BORDURES DU CIRQUE	67
1.1 - LE BASSIN-VERSANT DE BRAS ROUGE ET DE LA RAVINE DES FLEURS JAUNES	67
1.2 - LE BASSIN-VERSANT DU BRAS DE BENJOIN (PETIT ET GRAND MATARUM) ET DU BRAS DES ETANGS	68
1.3 - LA BORDURE ORIENTALE DES REMPARTS (DE LA FORET DE LA MARE A JOSEPH A PAVILLON)	69
1.4 - LA BORDURE OCCIDENTALE DES REMPARTS (DE LA FORET DE TAPCAL A PAVILLON)	70
2 - LES GRANDS ILETS	71
2.1 - L'ILET A CORDES	71
2.2 - LE PLATEAU DE CILAOS (ILET PLATE-FORME, MARE SECHE, LES ETANGS)	72
2.3 - L'ILET BRAS SEC	75
2.4 - L'ILET PALMISTE ROUGE	76
3 - LE CAP NOIR, PETER BOTH ET GROS MORNE DE GUEULE ROUGE	76
3.1 - LE VERSANT OCCIDENTAL, AU-DESSUS DU BRAS DE BENJOIN	77
3.2 - LE VERSANT ORIENTAL AU-DESSUS DE PETIT BRAS ET PALMISTE ROUGE	77
4 - LES FONDS DE VALLEES	78
4.1 - LA RAVINE DE BRAS ROUGE	78
4.2 - LE BRAS DE SAINT PAUL	79
4.3 - LE BRAS DE BENJOIN	79

5 - L'ENTREE DU CIRQUE	79
5.1 - JUSQU'A LA PASSERELLE DE L'ILET ROND	80
5.2 - L'ILET ROND	80
5.3 - APRES LA TRAVERSEE SANS PROBLEMES DE L'ILET FURCY	80
5.4 - DU PETIT SERRE A PAVILLON	81

CHAPITRE V - RECOMMANDATIONS ET MESURES DE SAUVEGARDE

1 - MESURES DE SAUVEGARDE A PRENDRE EN LIAISON AVEC L'ACTIVITE DE L'EAU SUPERFICIELLE	85
1.1 - VIS-A-VIS DES HABITATIONS ET DES AMENAGEMENTS COLLECTIFS ..	85
1.2 - VIS-A-VIS DES SURFACES AGRICOLES	87
1.3 - VIS-A-VIS DES INFRASTRUCTURES	88
2 - MESURES DE SAUVEGARDE A PRENDRE EN LIAISON AVEC LES MOUVEMENTS DE TERRAIN ET L'ACTION DE L'EAU SOUTERRAINE	93
2.1 - VIS-A-VIS DES HABITATIONS	94
2.2 - VIS-A-VIS DES SURFACES AGRICOLES ET DES INFRASTRUCTURES ..	94
CONCLUSIONS	95
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	97

PLANCHES HORS TEXTE : Cartes à 1/25 000 (hors texte)

- I - Formes de l'érosion récente et zonage du cirque de Salazie
- II - Formes de l'érosion récente et zonage du cirque de Cilaos

PREAMBULE

Le cyclone "Hyacinthe", ...

Le cyclone "Hyacinthe" est passé près de la Réunion le dimanche 27 janvier 1980, après 12 jours et nuits de pluies ininterrompues qui avaient déjà complètement gorgé d'eau les sols. Certaines stations météorologiques ont enregistré une hauteur de précipitations de 7 m en 12 jours, ce qui est un record mondial des valeurs répertoriées.

Les dégâts ont de ce fait été considérables : ponts, routes, lignes électriques et téléphoniques, canalisations, habitations, emportés ; inondations des zones basses ; rivières ayant repris leur ancien lit au défi des aménagements urbains réalisés depuis 15 ans ; érosion très forte des rivières, de leur lit et de leur berge, érosion des pentes. Les pertes humaines se sont élevées à 25 morts pendant cette période.

... Son impact sur les sols et les équipements, ...

Il a été remis en mémoire, si besoin en était, l'existence d'événements cycloniques exceptionnels qui démobilisent, plus que de coutume encore, des quantités colossales de sédiments, provoquant une érosion extrêmement profonde et une évolution géomorphologique particulièrement rapide. Les cyclones de 1875 et 1948, pour ne citer qu'eux deux, ont ainsi laissé des traces ancrées dans les paysages et dans les mémoires. Les processus de mise en mouvement, de transports et de sédimentation sont si amples qu'ils affectent la gestion des terres des "Hauts" de l'île pour l'agriculture, l'aménagement, l'habitat et les communications.

... Le programme de cartographie des risques naturels, ...

Le projet de cartographie des risques de mouvement du sol de l'ensemble de l'île, proposé alors par le Service géologique régional, a un financement avec pour volet d'urgence l'étude des risques dans les cirques de Cilaos et de Salazie, a été lancé sur un crédit spécial FIDOM. Il devrait être poursuivi dans les années à venir, parallèlement à l'étude des risques volcaniques, en fonction des priorités.

... Les premières études et cartes de l'érosion en 1980 et 1981

Elles indiquent que les cirques sont soumis d'une part à l'érosion liée au cheminement des eaux superficielles (ravinement, alluvionnement, inondation...), d'autre part à celle liée aux mouvements de masse et à l'eau souterraine (glissements superficiels, tassements, écroulements rocheux...). Les principaux résultats sectoriels consignés sur une carte à 1/25 000 et dans un tableau récapitulatif montrent que l'érosion est inexorable à l'échelle géologique mais que, à l'échelle humaine, on peut en retarder et en limiter les effets.



Le piton d'Enchaing (cirque de Salazie) vu d'Hellbourg

INTRODUCTION

Les cirques échantonnant le massif du piton des Neiges sont les secteurs de l'île de la Réunion où les manifestations de l'érosion actuelle sont les plus nombreuses, les plus amples et les plus spectaculaires.

A l'occasion de précipitations exceptionnelles, comme ce fut le cas en janvier 1980 (cyclone "Hacinthe"), l'ampleur et la diversité de l'érosion est telle que les accidents sur les versants des îlets et des parois des cirques ainsi que dans les vallées prennent une tournure catastrophique pour les terres cultivables, les habitations et la sécurité des personnes. Inondations, ravine-ments, chutes de blocs, mouvements de masse menacent les pistes et les routes ; les fossés et bas-côtés sont emportés par les eaux, les murs de soutènement se lézardent et s'effondrent, les gabions se déforment et s'affaissent. Les coupures sont nombreuses (route de Grand Ilet, de Cilaos...) et la circulation est parfois interrompue pendant plusieurs semaines sur certains tronçons, isolant des villages. D'énormes coulées de boue et des éboulements affectent les versants et les talus sur toute leur hauteur et entraînent les terres qui disparaissent dans les ravines. Dans les villages, certaines habitations menacées doivent être évacuées. Au fond des vallées, les rivières serpentent dans un lit plus ou moins large, encombrés par endroits de matériaux de toute sorte arrachés par les eaux aux berges et aux versants.

Après chaque cyclone ou pluie exceptionnelle, il y a des secteurs qu'il faut sans cesse entretenir en vue de rétablir la viabilité toujours compromise.

C'est pour cette raison que la région des cirques (Salazie et Cilaos, d'abord) a fait l'objet d'une opération prioritaire de cartographie des risques, destinée à fournir, tant à l'Administration qu'aux particuliers, toute l'information sur la multiplicité et l'importance des risques d'origine naturelle liés à l'eau et aux terrains.

Après avoir brossé le cadre de l'étude (chapitre I), nous définissons les différentes formes de l'érosion actuelle constituant un élément fondamental du paysage (chapitre II). Mais il est nécessaire d'étudier également les formes anciennes de l'érosion qui ont contribué au modelé des versants, à la suite de processus semblables à ceux que l'on peut voir en action de nos jours. La comparaison entre ces processus et ces formes anciennes et actuelles, l'examen des influences réciproques des différents facteurs, permettent de mieux saisir l'évolution prochaine des reliefs et, par là-même, de prévoir les secteurs où tel ou tel type d'évènement peut se produire (chapitres III et IV). Enfin, un certain nombre de recommandations d'ordre général seront proposées (chapitre V) afin d'orienter, au coup par coup, les mesures de sécurité et de sauvegarde dans les cirques, au niveau des aménagements spécifiques (voies de communication, habitat, agriculture, ...).

CHAPITRE I

CADRE DE L'ETUDE



L'Aiguille de Peter Both et le Cap Noir dans le cirque de Cilaos

1 - TRAITS GEOGRAPHIQUES ET GEOLOGIQUES ESSENTIELS DE LA REUNION

1.1 - GEOGRAPHIE, CLIMATOLOGIE

L'île de la Réunion se situe dans la zone intertropicale de l'océan Indien sud entre 20°50' et 21°25'S et entre 55° et 56°E. Elle est soumise à une saison cyclonique annuelle (entre décembre et avril) et voit ainsi passer chaque année sur elle, ou à proximité, plusieurs dépressions cycloniques (fig. 1).

Les précipitations moyennes annuelles varient entre 2,5 et 9 m dans le secteur "au vent" de l'île et de 0,6 à 2 m dans le secteur "sous le vent". Toutefois, lors de précipitations cycloniques exceptionnelles, elles peuvent atteindre 6,4 m en 13 jours (station du Commerson, janvier 1980).

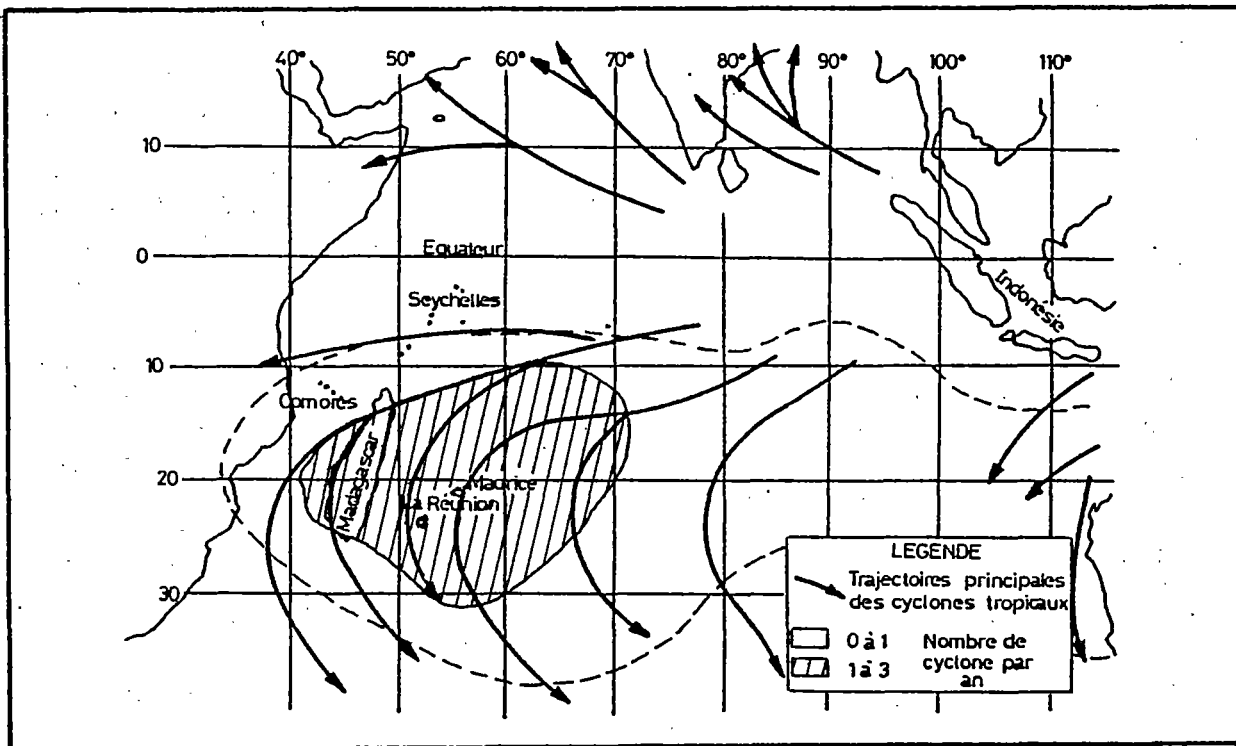


Figure 1 - Carte de situation de la Réunion dans l'océan Indien sud avec mention des principaux courants atmosphériques (d'après MÜCHENER RÜCK, 1980)

1.2 - CADRE GEOLOGIQUE

. Présentation générale

Cette île en forme d'ellipse (de 70 km sur 40 km), est formée par un double cône volcanique récent. Cet énorme appareil volcanique, qui atteint presque 7 000 m de hauteur, repose sur un plancher océanique "calme", par 4 000 m de fond (où il occupe une surface de 30 000 km² environ) et émerge de 3 000 m (son volume émergé ne représente plus que le 1/10 de son volume total) (fig. 2).

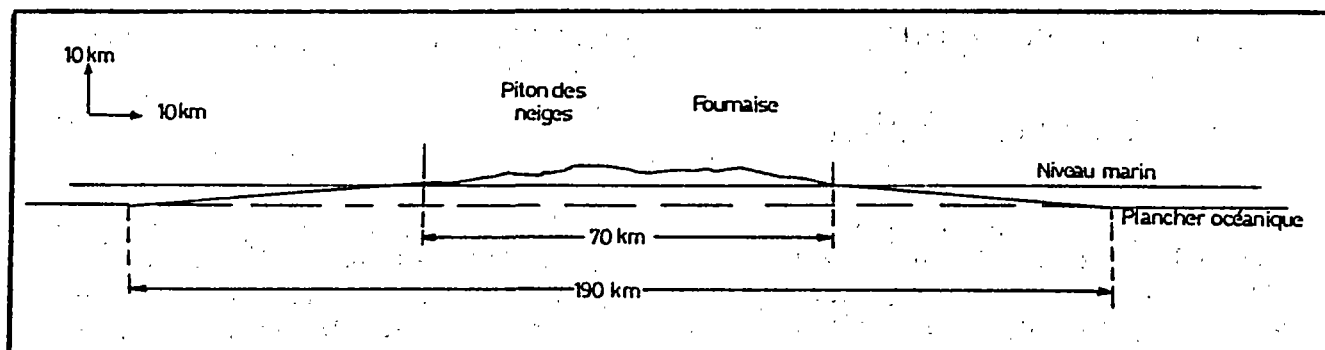


Figure 2 - Coupe d'ensemble de l'appareil volcanique dont la partie émergée constitue l'île de la Réunion, la partie immergée représente les 9/10 du volume total

En effet, l'île de la Réunion est formée par deux volcans boucliers imbriqués :

- le piton des Neiges (3 069 m), le plus vaste et le plus ancien. Les plus vieilles formations volcaniques affleurantes ont été datées à 3,1 M.A., mais l'activité s'est poursuivie jusqu'à il y a 20 000 ans, avec de puissantes émissions basaltiques à l'intérieur d'une caldera centrale aujourd'hui estompée sinon disparue mais reprise et développée de façon complexe par l'érosion pour former les cirques.

- le piton de la Fournaise (2 361 m), volcan plus récent, s'est développé sur les flancs du piton des Neiges depuis 35 000 ans environ (fig. 3). L'activité volcanique basaltique se poursuit de nos jours avec une fréquence annuelle. Ce volcan actif présente 3 murailles d'effondrements successives concentriques, partiellement comblées par les émissions ultérieures (fig. 4). Les limites de ces calderas sont accentuées par les rivières qui ont creusé leur lit au pied de ces remparts, entaillant profondément ce gâteau stratifié constitué de coulées de faible épaisseur (ordre du mètre) alternant avec des niveaux de scories tendres et friables, souvent de même épaisseur.

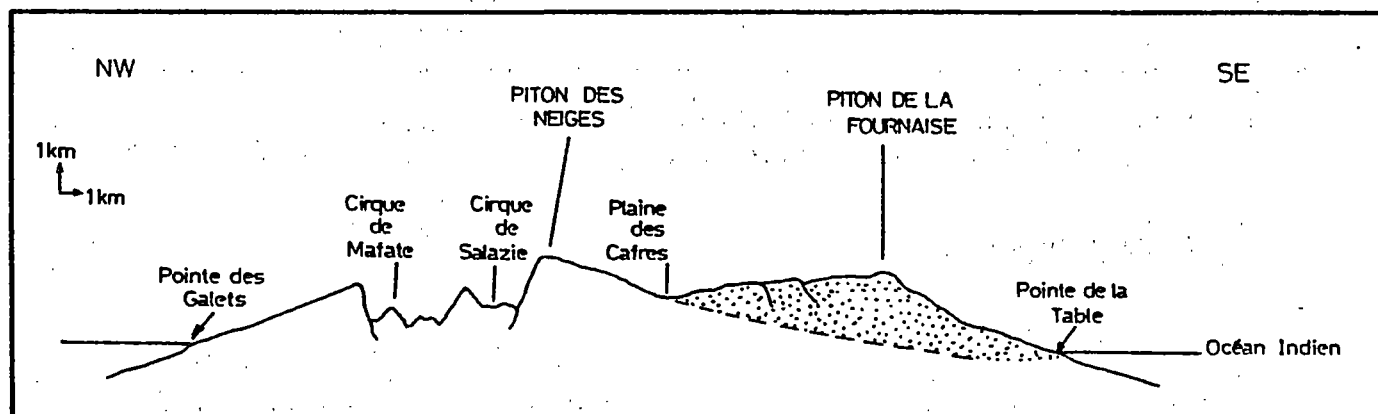


Figure 3 - Coupe des deux volcans de la Réunion ; le piton de la Fournaise s'est édifié à flanc du massif du piton des Neiges

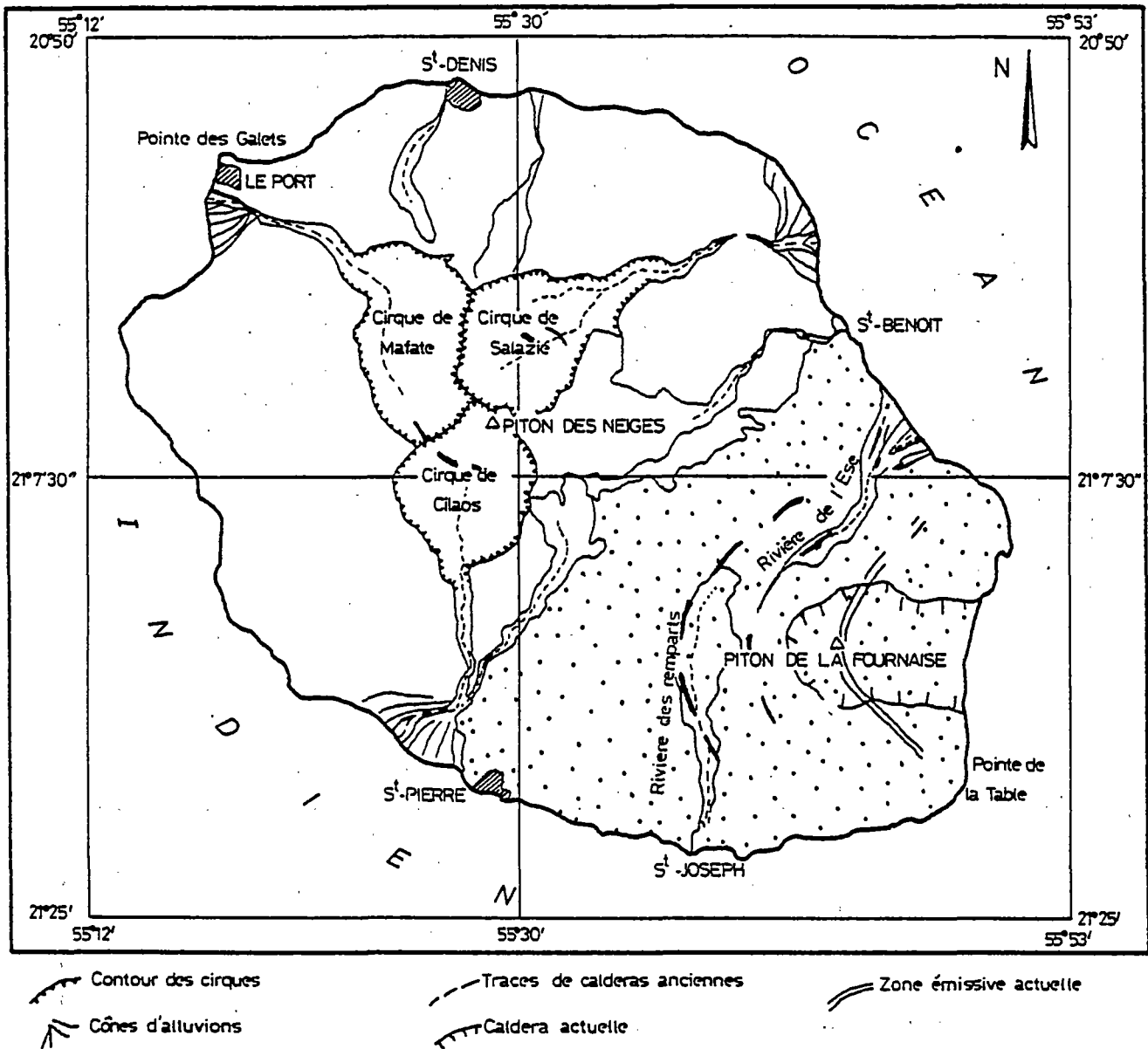


Figure 4 - Carte physiographique de la Réunion mettant en évidence les grands traits structuraux volcaniques et leur reprise et développement par érosion.

Les cirques du massif du piton des Neiges sont des structures d'érosion de moins de 20 000 ans, développées à partir d'effondrements structuraux figurés en pointillés (caldéra). Ce développement érosif est possible d'une part par le convergence d'érosions régressives amorcées déjà bien antérieurement dans l'histoire du volcan, d'autre part par l'arrêt de l'activité volcanique qui ne permet pas l'oblitération des cicatrices structurales et érosives comme cela est le cas dans le massif du piton de la Fournaise.

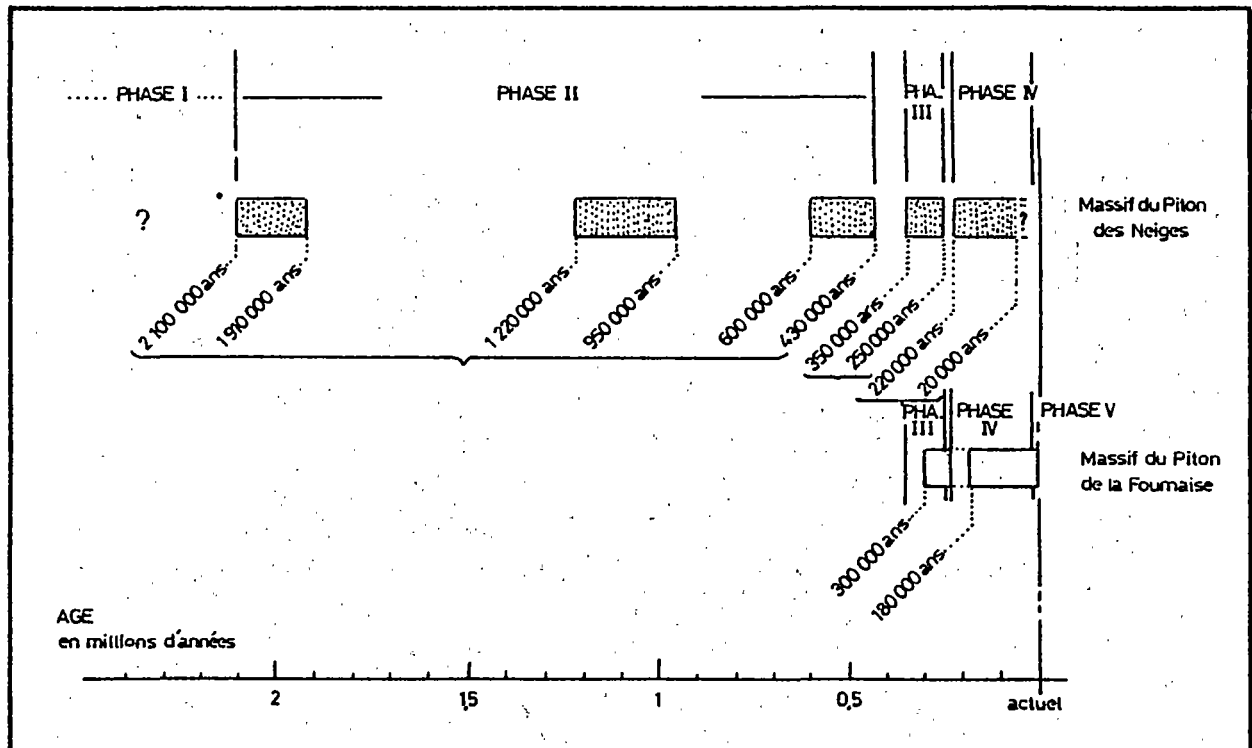


Figure 5 - Répartition dans le temps des principales phases de l'activité volcanique de la Réunion. Les âges absolus sont ceux donnés par Mac DOUGALL ; le découpage en phases I, II, III, IV, V, est celui de la carte géologique à 1/50 000 (G. BILLARD)

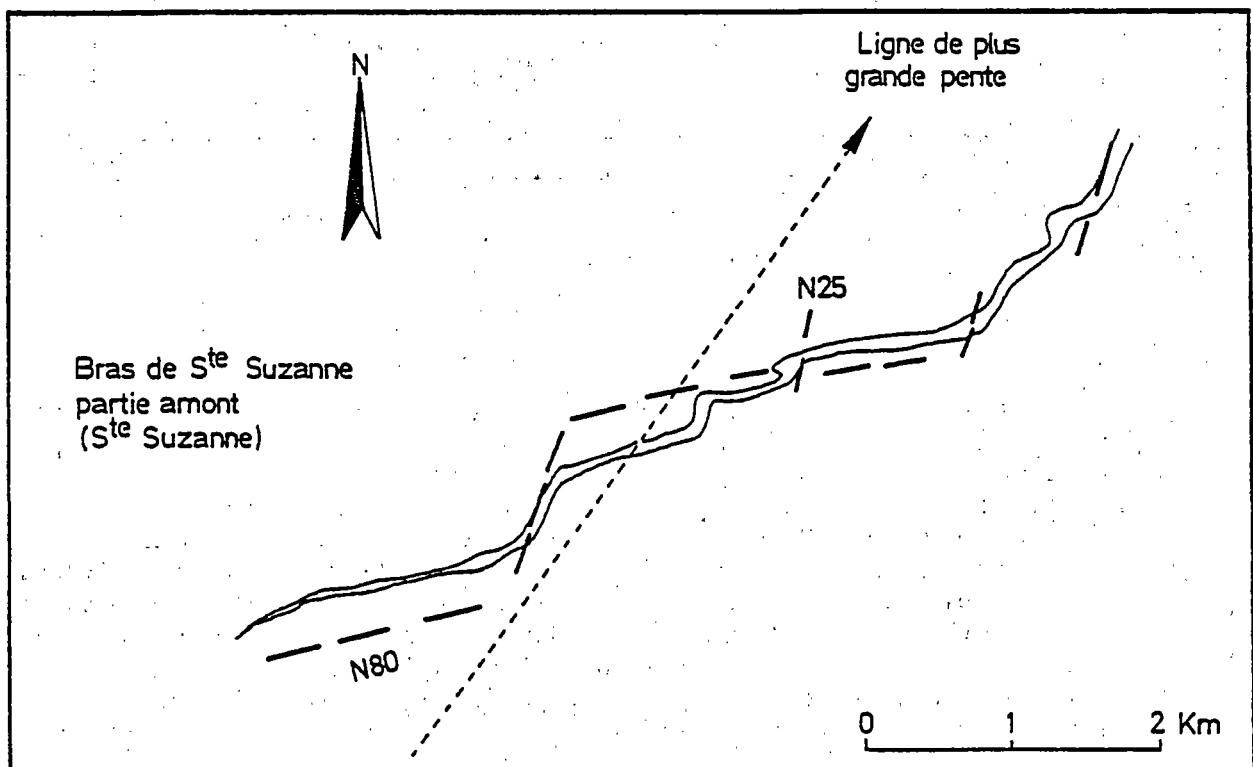


Figure 6 - Tracé du cours amont du bras de Sainte-Suzanne. Cette partie de rivière utilise successivement les directions tectoniques N80 et N25 pour son écoulement qui est oblique à la ligne de plus grande pente du flanc du volcan du piton des Neiges

. Stratigraphie - Lithologie

. Le massif du piton des Neiges est un vaste strato-volcan, formé de l'empilement de coulées basaltiques de faible épaisseur (de l'ordre du mètre), séparées par des bancs scoriacés à niveaux pyroclastiques, sols rubéfiés et ce, sur plus de 3 000 m de puissance.

Quatre ensembles chronostratigraphiques ont été isolés (fig. 5) :

- à la base, une série d'océanites datée entre 2,1 et 1,22 M.A. (phase I) ;
- au-dessus, trois séries alcalines différenciées, superposées (2 000 m environ), entre 1 220 000 ans et 20 000 ans (phases II, III et IV).

. Le massif du piton de la Fournaise fonctionne également en strato-volcan basaltique, du même type que celui du massif du piton des Neiges dont il est un prolongement vers le Sud-Est. Son magma basaltique (océanites) et 4 ensembles chronostratigraphiques peuvent être distingués dans cette série récente.

. De 300 000 à 200 000 ans : empilement de base, formation du premier effondrement (phase III)

. De 180 000 à 20 000 ans : deuxième phase émissive et formation du deuxième effondrement (phase IV)

. De 20 000 à 1 200 ans : phase récente et formation du troisième effondrement (caldera du Grand Brûlé) (phase V)

. De 1 200 ans à aujourd'hui : phase émissive actuelle du Grand Brûlé et de ses zones latérales (phase V).

. Structure tectonique

L'inventaire exhaustif des intrusions volcaniques de la Réunion a conduit à la mise en évidence de 6 directions structurales principales affectant les deux volcans. Ces directions correspondent soit à des directions distensives productrices de magma (rifts) à des époques successives (N150, N120, N70-90), soit à des directions essentiellement cassantes, décrochantes ou de compression (N45, N25, N175). Elles marquent en tous cas profondément le bâti des volcans, guidant les principaux traits morphologiques : bordure de remparts, réseau hydrographique, failles de grands glissements des cirques, bordures de calderas, axes émissifs récents du piton des Neiges et du piton de la Fournaise, ...

En ce qui concerne les cirques, les grands glissements en loupe, à l'origine des effondrements par panneaux à l'intérieur des cirques, sont directement initiés à partir de ces grands traits structuraux.

. Magmatisme

Deux types de magma primaire peuvent être distingués dans l'île de la Réunion.

- Un magma transitionnel (entre alcalin et tholéitique) qui correspond aux océanites et picrites de la série "primitive" du massif du piton des Neiges et de l'ensemble du massif du piton de la Fournaise. Ce magma s'exprime toutefois dans les deux volcans à des époques extrêmement éloignées : aux alentours de 2 M.A. dans le massif du piton de la Fournaise, c'est-à-dire partiellement contemporain des émissions alcalines du massif du piton des Neiges.

Ce magma est formé essentiellement de laves basaltiques cumulatives et de basaltes faiblement évolués.

- Un magma alcalin qui correspond aux séries terminales du massif du piton des Neiges, et s'exprime sous forme de laves quelquefois évoluées, depuis des basaltes jusqu'à des comendites.

1.3 - HYDROGRAPHIE

De par sa disposition en double-cône, le réseau hydrographique de la Réunion devrait être sensiblement radial, à l'image de ce que l'on observe sur le flanc "sous le vent" du volcan du piton des Neiges entre la rivière des Galets et les "hauts" des Avirons.

En fait, la fracturation tectonique joue un rôle de guide prépondérant pour ce réseau dans l'ensemble de l'île : l'écoulement sera sécant à la ligne de plus grande pente le long des grands rebords d'effondrement, comme pour la rivière Saint Denis, les rivières des Remparts, Langevin ou de l'Est. A une échelle moindre, nombre de cours d'eau ont un parcours en une série de tronçons rectilignes suivant 2 ou 3 directions constantes, correspondant aux directions tectoniques ayant joué récemment, comme par exemple la partie amont du bras de Sainte Suzanne (fig. 6).

Dans les cirques, où les panneaux effondrés constituant le fond de ces dépressions sont faits d'un matériau bréchiqye très meuble, le réseau hydrographique suit les principales directions d'effondrement, c'est-à-dire les dernières directions d'effondrement tectoniques actives ou réactives : N45, N70-90, N45, ainsi le cours de la rivière du Mât, de la rivière des Fleurs Jaunes et de leurs affluents (dans Salazie), de la rivière Bras Rouge, du bras de Morel ou du bras de Saint Paul (dans Cilaos).

1.4 - HYDROGEOLOGIE

. Dans les flancs des deux volcans

Le haut degré de fissuration des coulées de basaltes et la grande perméabilité des scories confèrent aux empilements de coulées volcaniques de la

Réunion une perméabilité en grand des massifs. Celle-ci favorise l'infiltration profonde des eaux de pluie et donne, dans l'hydrologie réunionnaise, une place prépondérante aux eaux souterraines.

Les seules formations capables de faire écran au cheminement souterrain vertical des eaux et donnant naissance à des niveaux de sources sur les versants des vallées et des cirques, sont les anciens sols, les couches de cendres volcaniques ou autres produits pyroclastiques altérés, les anciens lits alluvionnaires, certains niveaux conglomératiques et, dans certains cas, les dykes.

Les dykes (injections verticales de lave le long de fissures, alimentant en lave les coulées de surface) peuvent jouer deux rôles différents :

- ils conduisent l'infiltration verticale le long de leur paroi ; dans les zones de forte densité de dykes, l'infiltration doit être maximale ;
- ils forment des barrages souterrains à l'écoulement des nappes perchées suivant la pente générale du fait de leur faible perméabilité due à leur injection sous pression, ainsi qu'au phénomène de "trempe" de leurs bordures qui se vitrifient au contact du terrain.

La combinaison de ces deux facteurs fait que les zones riches en dyke sont des régions d'infiltration maximale puisque ces intrusions accumulent l'eau derrière leur muraille (surtout si celle-ci est transverse à la pente) et provoquent l'infiltration.

Les réserves souterraines ainsi retenues en altitude par les formations imperméables que l'on vient de citer, peuvent être désignées du terme générique de nappes perchées. Du fait de l'extension limitée des coulées, des projections, des champs de fracturations et de dykes locaux ou régionaux, ces nappes n'offrent presque jamais une grande continuité, ce qui explique la rareté des sources importantes, notamment dans la région sous-le-vent (la plupart des sources ont un débit ne dépassant pas quelques litres/seconde).

Certaines circulations souterraines se font enfin en aval-écoulement de façon extrêmement rapide sur de très gros débits (plusieurs mètres cubes) le long de tunnels de lave, véritables canalisations naturelles dont la section peut atteindre plusieurs mètres de diamètre. Ces écoulements "en tubes" alimentent la nappe de base, et nombre d'entre eux arrivent directement en mer donnant des sources sous-marines comme celles connues dans la région de Saint Philippe.

Les eaux d'infiltration qui ont échappé aux formations imperméables rejoignent une nappe en équilibre hydrostatique avec la mer, que l'on peut appeler nappe de base. Cette nappe de profil lenticulaire repose, en profondeur, sur l'eau de mer, de densité supérieure, qui sature tout le sous-sol de l'île dans la mesure où des formations imperméables ne s'opposent pas à sa pénétration. Cette nappe de base se rencontre habituellement dans les forages de la périphérie de l'île.

... Dans les cirques

Les cirques sont alimentés par leurs remparts, par des niveaux de sources régies par le système hydrogéologique général du strato-volcan qui vient d'être exposé : ainsi les sources et cascades dans le rempart, au-dessus du village de Salazie, celles sortant dans le piton des Neiges qui alimentent les rivières des trois cirques, ou celles des Orangers dans Mafate qui émergent à la faveur d'un dyke.

Mais dans le fond des cirques, le régime hydrogéologique est totalement différent. Les îlets et collines des fonds de cirque étant pratiquement tous constitués de séries du volcan, fragmentées sur place par effondrement et parfois remaniées plusieurs fois ; leur matrice est celle d'un matériau généralement bréchique non consolidé, et de ce fait perméable en grand. Cette perméabilité peut être telle que des niveaux de sources apparaissent dans les bordures des îlets dès qu'il pleut, c'est-à-dire que la réponse du terrain est immédiate à l'infiltration. Il en est ainsi dans l'îlet d'Hell Bourg au-dessus de Mare à Poule d'Eau (cirque de Salazie).

Ces niveaux de sources, qui émergent à l'occasion de niveaux plus imperméables (anciennes cendres, scories argilisées), sont généralement à l'origine des sapements rapides des flancs d'îlets par écaillage, pouvant provoquer des coulées de boue dévastatrice (Mare à Poule d'Eau, Grand Ilet, ...).

2 - LES STRUCTURES D'EFFONDREMENT, D'EROSION, ET LES MATERIAUX DE FOND DES CIRQUES

La Réunion est caractérisée par une érosion extrêmement profonde de son bâti géologique, ce qui donne des traits morphologiques fortement marqués : rivières très encaissées avec des remparts souvent vertigineux atteignant plusieurs centaines de mètres. Mais les traits de la morphologie, les plus spécifiques de l'île, sont constitués par les cirques, lieux où les structures d'érosion sont de loin les plus développées.

Les cirques de Mafate, Salazie et Cilaos constituent 3 dépressions coalescentes de 10 km de diamètre chacune environ, limitées par des murailles abruptes de 500 à 2000 m de hauteur (fig. 3 et 4). Le fond des cirques est constitué par des "îlets", panneaux du coeur du volcan effondrés de plusieurs centaines de mètres le long de surfaces de glissement dont la meilleure image est fournie par les remparts des cirques. Les empilements laves-scories formant le squelette du strato-volcan ont alors été fragmentés sur place et sont réduits à l'état de brèches emballées dans un matériau terreux, un fantôme d'ancien sol ou de niveau cendreux rouge est parfois là pour rappeler la structure initiale stratifiée. Ce matériau bréchique, souvent totalement incohérent, est évidemment soumis à un ravinement et une érosion intense à chaque pluie, ce qui explique l'érosion exceptionnellement vive et par là l'aspect fort déchiqueté du fond des cirques. Chacun de ces cirques dispose d'un exutoire vers la mer au débouché duquel se trouve un vaste cône de déjection (fig. 3) : la plaine des Galets (Mafate), la plaine alluviale de Saint André-Bras Panon (Salazie), la plaine alluviale de Saint Louis (Cilaos).

. Les matériaux de fond des cirques

La lecture des différentes cartes géologiques existantes ainsi que les études sur la géologie des cirques, ne décrivent les formations géologiques de l'intérieur des cirques que comme "matériau volcanique détritique", "brèches" ou de façon plus génétique et plus complète comme "éboulis" (de pente ou d'escarpement) et "ensemble d'épandage, coulées de solifluxion, lahars, tufs, éboulis et éluvions".

Les brèches d'origine volcanique sont en fait assez rares ; l'essentiel des matériaux est fait de brèches dues à la fragmentation sur place des panneaux effondrés, de brèches d'écroulement, de brèches de pentes, ... pour les îlets (panneaux effondrés), matériaux bréchiques repris ensuite en première et deuxième génération de mouvements (glissements, arrachements des coulées de boue) affectant les brèches primaires (fig. 7).

Du point de vue lithologique, il en résulte que le fond des cirques est formé d'énormes paquets (épais de plusieurs centaines de mètres) de remplissage plus ou moins fracturés ou bréchifiés, liés aux phases tectoniques de fin de phase III et phase IV, reposant sur d'épais niveaux de brèches généralement consolidées et cimentées affleurant au fond des cirques, datant des mouvements tectoniques similaires des phases II et III, armés par les intrusions (dykes et sills) des phases III et IV et affectés par l'hydrothermalisation : zéolites, sulfures, carbonates, ..., permise par la circulation des eaux géothermales dans ces séries perméables en grand, et qui contribueront en même temps à leur cimentation.

. Description des formations bréchiques des cirques

L'analyse des formations bréchiques observées à l'intérieur des cirques met en évidence plusieurs générations de brèches :

- 1) - Brèches consolidées contenant des basaltes à olivine et basaltes aphyriques de la série indifférenciée (phase II). Ces blocs légèrement roulés, sont souvent zéolitisés. Le ciment n'est pas toujours zéolitisé, mais il peut avoir subi une deuxième zéolitisation probablement liée à la phase magmatique suivante (intrusions de la phase III, avec entre autres mise en place de trachytes et syénites). Elles englobent aussi souvent des fragments d'intrusions, de blocs de laves non zéolitisées (donc postérieures à la zéolitisation des basaltes à olivine).

Ces brèches sont donc, au mieux, contemporaines ou postérieures à la mise en place des basaltes à olivine zéolitisés de la phase II (laves pahoehoe), correspondant probablement à des effondrements contemporains ou plus certainement postérieurs à cette phase. On a déjà, dès cette époque (la plus ancienne connue à l'affleurement dans l'île), des phénomènes actifs d'effondrement semblables à ceux qui ont affecté le piton des Neiges ; on pourrait les associer à des phases de pré-caldera, de caldera ancienne, ou d'érosion. Les structures volcaniques anciennes des fonds de cirques ne sont donc pas simples et monotones.

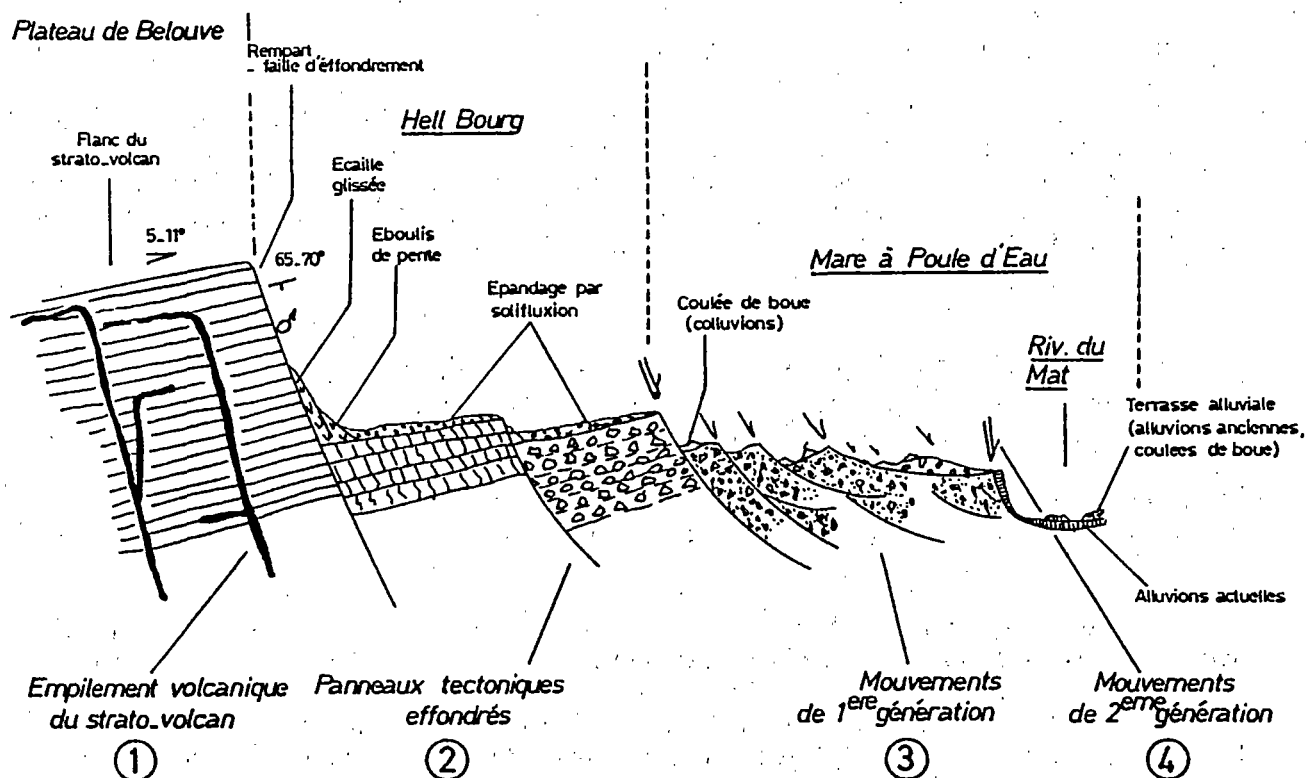


Figure 7 - Schéma de synthèse de la structure des cirques, illustré par la bordure orientale du cirque de Salazie
Du plateau de Bélouve à la rivière du Mât, on passe des flancs du strato-volcan aux panneaux tectoniques effondrés et à leur reprise érosive en mouvements de 1ère et 2ème génération (fig. 20, p. 54) conduisant aux colluvions et alluvions.

- 1 Empilement de coulée généralement basaltiques d'épaisseur métrique, alternant avec des niveaux scoriacés. Intercalation de niveaux de cendres, de lapillis, de pyroclastites, d'alluvions et conglomérats. Les grandes phases stratigraphiques sont séparées par des niveaux de sols généralement rubéfiés, ou de conglomérats (éluvions, colluvions,...), qui sont souvent soulignés par des niveaux d'émergences des eaux souterraines. Les failles d'effondrement des remparts suivent les directions des principales familles tectoniques affectant l'île, qui sont des directions d'intrusions. La ligne des remparts conjugue des éléments de plusieurs directions : les dykes peuvent être les zones de décollement préférentielles et donc être à l'origine des surfaces d'effondrement des remparts.
- 2 On retrouve la structure initiale fracturée ou mylonitisée, jusqu'à des panneaux où il ne reste que la trame de la structure initiale d'empilement : l'aspect est celui d'une brèche à blocs anguleux arrondis ; mais une observation plus fine laisse deviner des sols, niveaux de cendres, de scories,... qui constituent d'ailleurs des niveaux d'émergence des eaux d'infiltration faisant écran à la percolation en grand des eaux météoriques.
- 3 Reprise du matériel fragmenté ou bréchifié des panneaux effondrés dans un processus de glissement-tassement. On ne retrouve plus la trace de la structure initiale d'empilement ; l'ensemble des matériaux (laves, sols, scories, cendres,...) sont totalement remaniés. Plus de trace d'organisation générale en couches ou de classement. A partir de ce stade, il est très difficile et souvent impossible de distinguer dans le matériel s'il s'agit de mouvement de 1ère (glissement-tassement) ou de 2ème (coulées de boue, éboulis d'écroulement, lunules) génération. Seule, l'analyse de la structure géologique, de ses contours cartographiques (structures de tassement, lunules, dépôts alluviaux, ...) permet de préciser la nature du matériel.
- 4 Ils représentent l'essentiel des formes de l'érosion actuelle : arrachements en loupe, glissements, effondrements, éboulements, à l'origine des coulées de boue et glissements de talus.

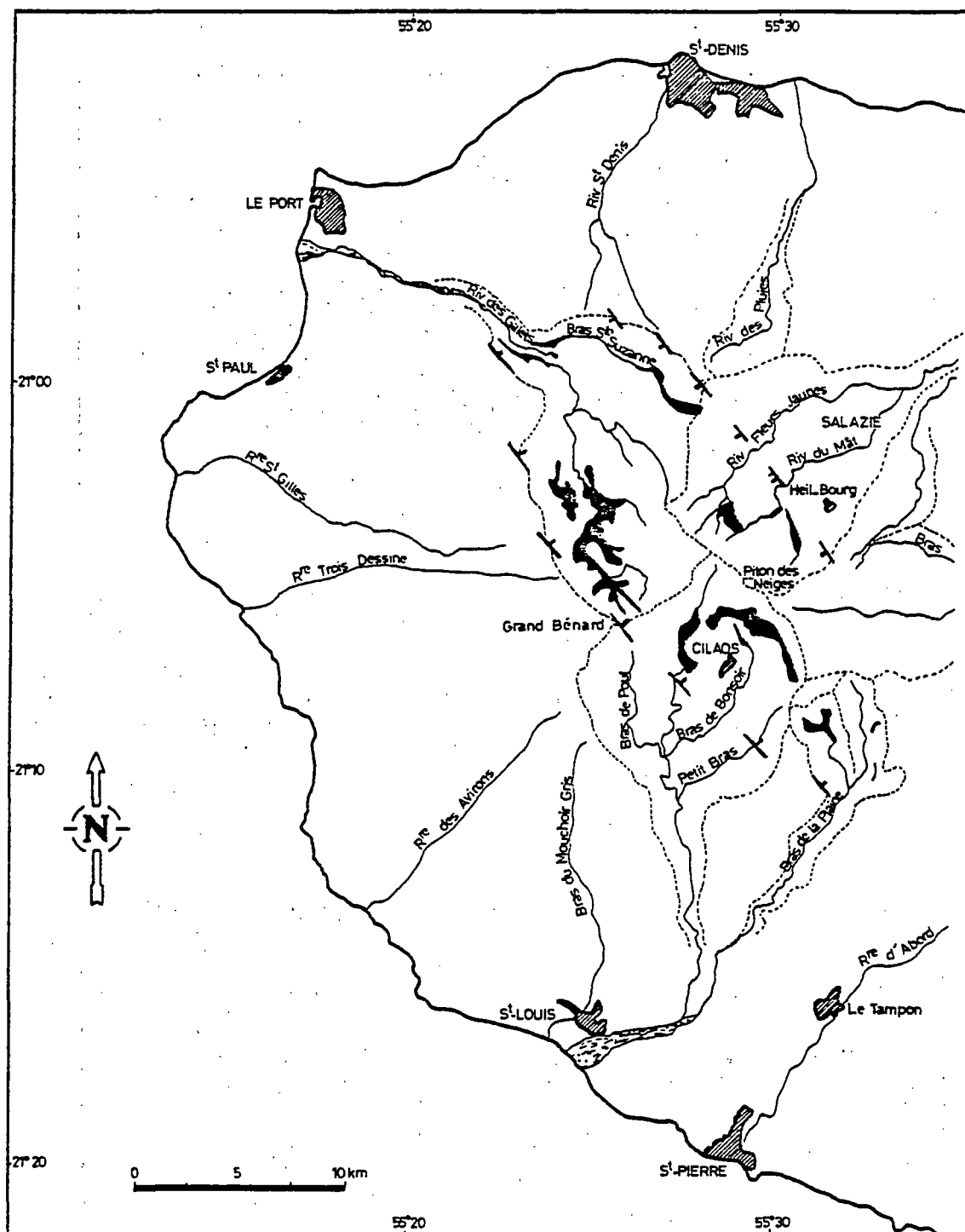


Figure 8 - Affleurements de répartition des brèches consolidées dans les cirques, à ciment pas toujours zéolitisé. Cette formation a été considérée comme la "série primitive d'océanites du piton des Neiges" ; elle ne représente que des brèches de basaltes de la phase II (2,1 - 0,43 M.A.) et localement des brèches de basaltes sous-aquatiques (sous lacustres ?). On remarque que ces brèches anciennes consolidées n'apparaissent que dans le cirque de Mafate, dépression la plus ancienne (marquée par sa vidange en matériaux très avancée) et autour de piton des Neiges et dans Grand Bassin ce qui suggèrent une activité ancienne suivant un rift N 120.

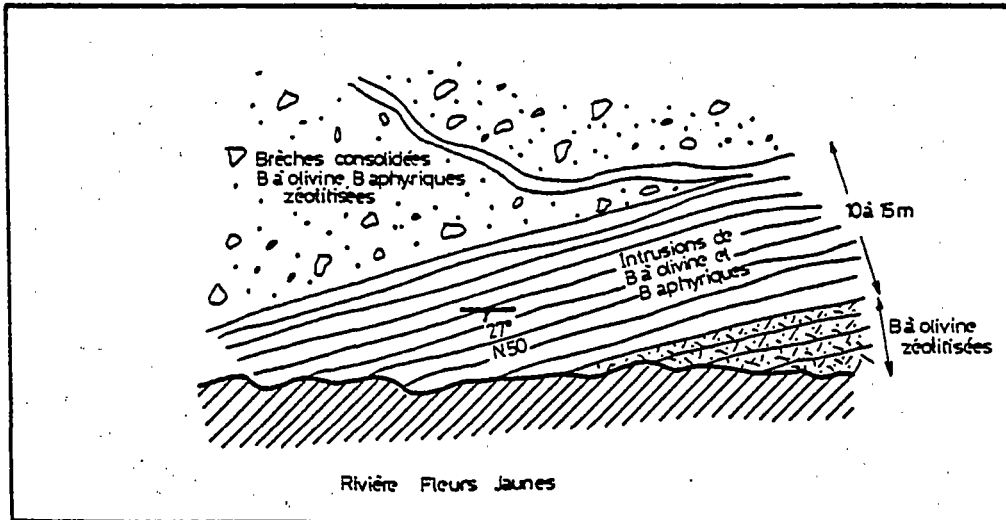


Figure 9 - Brèches et agglomérats zéolitisés au-dessus des basaltes à olivine zéolitisés dans la rivière des Fleurs Jaunes. Ces brèches de fond de cirque et agglomérats zéolitisés, décrits comme le niveau stratigraphique de base dans les cirques (phase I), dans tous les travaux récents et sur la carte à 1/50 000, ne représentent que des brèches d'écroulement et de remaniement liés aux effondrements tectoniques de la phase II ou du début de la phase III. Les sils se sont injectés au contact des laves à olivine et des brèches.

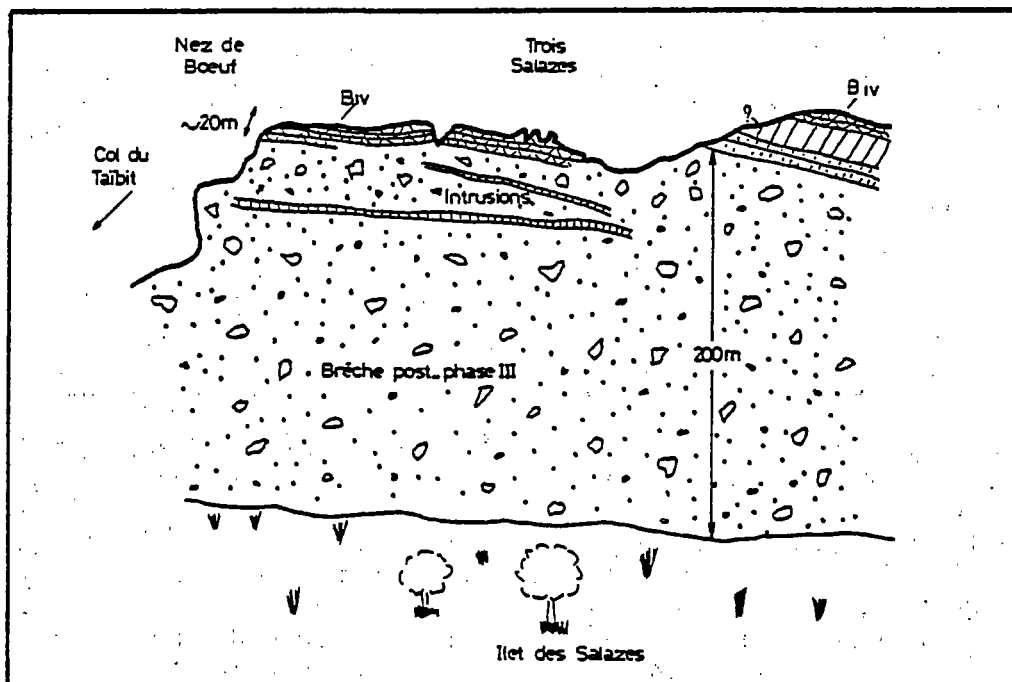


Figure 10 - Epaisse brèche post-phase III dans la partie centrale du volcan (contient des blocs de basaltes aphyriques et basaltes à feldspaths), recouverte par quelques coulées de la phase IV. L'ensemble du panneau s'est effondré de 600 m environ en fin de phase IV.

A ces brèches, que l'on retrouve uniquement dans le fond des cirques (fig. 8), a été attribuée une valeur stratigraphique plus ancienne que les basaltes à olivine zéolitisés (phase I), sur la base de datations absolues par la méthode K/Ar. Or ceci ne concorde absolument pas avec les données de terrain : tout d'abord il faut dire qu'aucun contact de ces brèches sous les basaltes à olivine zéolitisés n'a été observé. Par contre, certaines sont au-dessus des basaltes II, et d'autres comprises entre deux épisodes basaltiques (rivière des Fleurs Jaunes) (fig. 9).

Ailleurs, dans la rivière du Mât, le passage continu de basalte à olivine zéolitisé à brèches de ce type a été observé. La bréchification est donc bien une succession d'événements au moins contemporains et postérieurs à la mise en place de cette série. Les datations ont pu être faites sur des blocs effectivement anciens remaniés, ou sur des blocs altérés, car l'hydrothermalisation est extrêmement développée dans ces brèches.

D'ailleurs, la bréchification s'est probablement faite sur place, dans certains cas, par le soulèvement et le morcellement des séries de basaltes à olivines lors de la mise en place des intrusions au sein de la série. Ceci expliquerait la nature monogénique de certaines brèches et le reste de structures de laves pahoe-hoe (fig. 9).

- 2) - Brèches consolidées contenant des laves aphyriques, des basaltes à feldspaths, des trachytes, des laves de la phase III. Elles correspondent à des effondrements postérieurs à la mise en place de la phase III, en en reprenant les éléments, et recouverts par des laves de la phase IV, ce qui se voit très bien dans les brèches du Taïbit, par exemple (fig. 10). Ces panneaux de brèches ont parfois été repris dans les effondrements post-phase IV, comme au Taïbit.

Ces effondrements post-phase III sont très importants, compte tenu de l'épaisseur des brèches d'une part (fig. 10), et de l'ampleur des panneaux descendus d'autre part, tels le coteau des Orangers, l'îlet à Cordes, l'îlet de Cilaos dans le cirque de Cilaos ; le piton d'Enchaing, le morne de Fourche, le rempart de l'Eperon et le plateau Wickers dans le cirque de Salazie. *signifiante*

- 3) - Brèches faiblement ou non consolidées, reprenant les éléments de laves de la phase II à la phase IV. La nature de ces brèches est très variée, complexe, car d'âge récent, donc non encore érodées. Elles correspondent aux effondrements récents postérieurs aux dernières coulées du piton des Neiges (post-phase IV).
- 4) - Brèches de pentes, d'arrachement, solifluxion actuelle, non consolidées, dues à l'érosion actuelle des panneaux effondrés, instables, fragmentés, eux-mêmes déjà bréchifiés. L'ampleur et la vitesse de cette érosion actuelle sont considérables : de petits arrachements en loupes se produisent en permanence, en particulier pendant les périodes de pluies ; ils concernent des loupes de quelques mètres d'ampleur extrêmement fréquentes, à quelques dizaines de mètres encore fréquentes. Des loupes d'arrachement de plusieurs centaines de mètres sont

observées de temps en temps ; signalons par exemple ceux qui se sont produites ces vingt dernières années sur le rebord de l'îlet de Cilaos sur le bras de Benjoin, ayant emporté les chemins descendant du village à la rivière, ou ceux de 1980 sur le rebord du plateau d'Hell Bourg (kiosque) et à Grand Ilet.

D'autres affectent des secteurs de l'ordre du kilomètre, tels que cela s'observe sur les bordures et le centre des cirques et qui s'est manifesté de manière catastrophique en 1875 dans le cirque de Salazie, où un arrachement sur un front de 1 km environ a entraîné des colluvions sur plusieurs kilomètres en aval, emportant le village de Grand Sable et faisant 62 morts.

- 5) - Alluvions anciennes et actuelles. La remise en mouvement permanente de matériaux, telle qu'on vient de la voir ci-dessus, est chargée par les rivières qui transportent ce matériel vers la mer, en particulier dans les périodes cycloniques. Aussi, une énorme quantité d'alluvions a été drainée vers la mer après chaque période éruptive. Cela se traduit par les vastes cônes alluviaux de la rivière des Galets (de la Possession à Saint Paul), du bras de Cilaos (région de Saint Louis) et de la rivière du Mât (région de Bras Panon et Saint André). A l'intérieur des cirques, des accumulations alluviales, plus ou moins consolidées, se retrouvent un peu partout. Parmi les plus spectaculaires, notons les épaisses formations (de l'ordre de la centaine de mètres) de la sortie du cirque de Cilaos dans la région de l'îlet Bois Rouge.

Ces matériaux sont également repris dans des lahars froids et coulées de boue, en particulier après un effondrement important qui obstrue une rivière et derrière laquelle s'accumule l'eau. C'est sans doute le mode de transport majeur des matériaux avec les pluies cycloniques, les deux phénomènes étant d'ailleurs non seulement intimement liés mais en plus générateurs de l'érosion par effondrements de pans entiers de montagne.

- 6) - Brèches ou tufs volcaniques soudés ou non soudés, que l'on retrouve essentiellement dans le coeur du volcan. Ainsi, certaines brèches polygéniques soudées, à fragments anguleux, emballés dans un ciment grossier (trouvées en amont de la rivière Bras Rouge sous le Gros Rouge) ont été considérées comme des brèches de débouillage de conduit.

Les tufs soudés récents, que l'on retrouve sur les hauteurs des cirques, à la fois au Maïdo, à la Roche Ecrite et au Gros Morne, n'ont pour l'instant pas été reconnus à l'intérieur des cirques. La chose est relativement normale puisque la phase principale d'effondrement, donnant les cirques sous leur forme actuelle, s'est produite après leur dépôt et les a donc remobilisés.

. Les structures d'effondrement des cirques

Les failles d'effondrement des cirques (remparts) sont à l'origine de la formation des îlets de fond de cirque qui sont des panneaux tectoniques effondrés, ainsi que le montre la figure 7.

Les remparts, ainsi que les bordures des îlets sont découpés suivant les principales directions tectoniques de distension et de coulissement affectant l'île (que l'on retrouve dans les directions d'intrusions). La trace des remparts et celle des panneaux effondrés conjuguent les éléments de plusieurs directions, différentes suivant les cirques ou les secteurs de cirque, ce qui fait que l'on a une première impression de structures circulaires. Les remparts du cirque de Salazie (et ses îlets) sont essentiellement découpés par les directions N25 et N70-90 ; l'exutoire du cirque (rivière du Mât) emprunte une direction de faille N45 avant de reprendre, après un court décrochement N120, les directions N70-90. Les combinaisons des 6 directions majeures et de leurs rejeux successifs, la reprise de ces structures par des structures d'érosion, donnent une très grande complexité à la compréhension de la géologie des cirques.

Les remparts du cirque de Cilaos et ses panneaux effondrés conjuguent les directions N25, N120 et N70-90 ; l'exutoire du cirque suit un accident majeur N170.

Quant au rempart est de Mafate, il est surtout marqué par les directions N150 et N120, alors que la direction N70-90 se marque très nettement dans le fond du cirque (hydrographie, amorce des structures d'érosion).

Les principales phases d'effondrement semblent s'être produites vers la fin des grandes phases volcaniques.

A l'examen des brèches et des panneaux effondrés, on peut distinguer au moins 3 phases d'effondrements de grande échelle qui correspondent à des stades précis de l'évolution du volcan :

- au cours et à la fin de la phase II
- au cours et à la fin de la phase III (après les intrusions en "cône-street" de trachytes et syénites particulièrement développés dans les cirques de Cilaos et de Salazie)
- à la fin de la phase IV : les rebords des effondrements correspondent aux rebords actuels des cirques dans la partie centrale ainsi qu'à l'isolement de la paroi Gros Morne - crête des Salazes - piton des Neiges.

Ces effondrements ont affaîssé de plusieurs centaines de mètres des panneaux entiers (plusieurs km²) des pentes du volcan. Les plus récents constituent des îlets, plateaux isolés, réduits progressivement par l'érosion.

Il ne reste parfois que quelques témoins réduits de ces panneaux effondrés ; c'est le cas par exemple du piton d'Enchaing dans le cirque de Salazie, reliquat de loupes d'arrachements à la concavité tournée vers différentes directions (fig. 11). La même chose se produit dans le coeur du volcan au piton des Neiges ou au Gros Morne.

Avant la phase III, les phénomènes d'effondrement pourraient avoir été réduits. La bréchification sur place par injection de sills a pu être importante

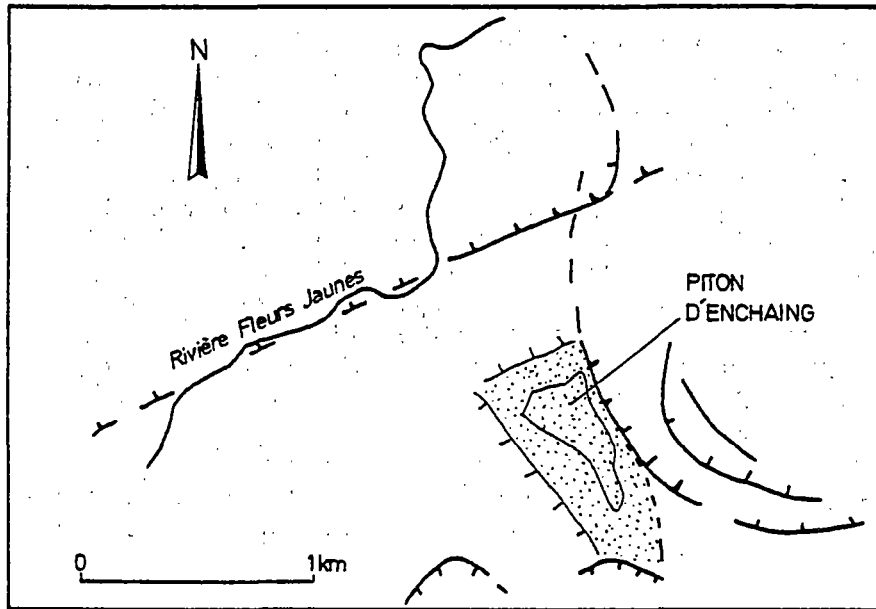


Figure 11 - Le piton d'Enchaing : témoin d'une portion des anciens flancs du volcan affaissé, découpé par l'érosion en loupes d'arrachements.

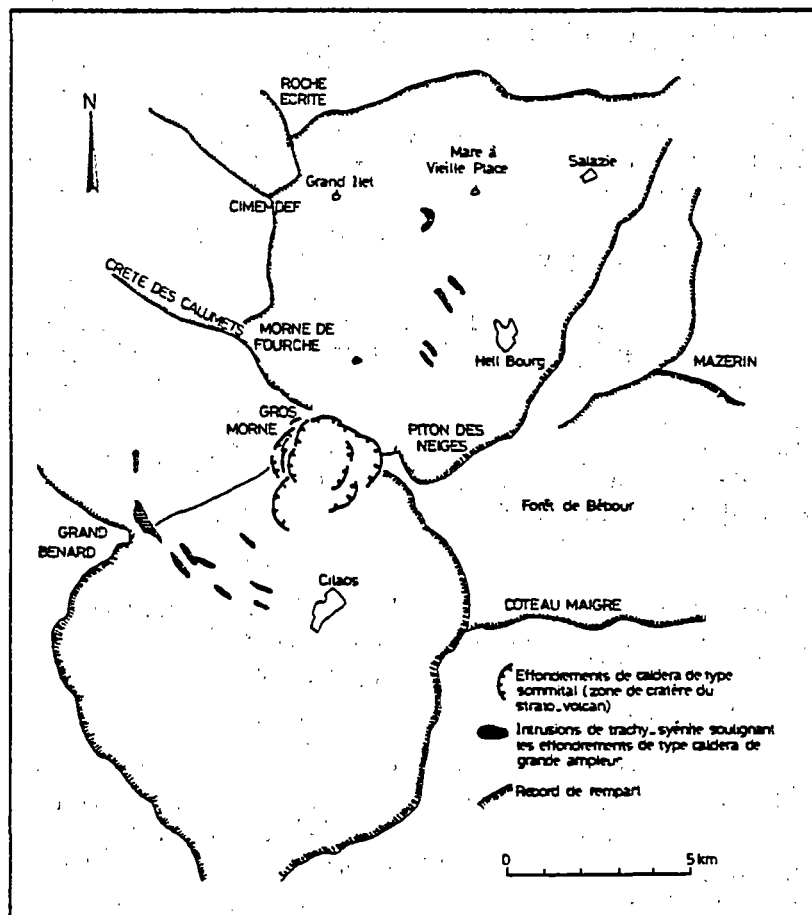


Figure 12 - Les derniers effondrements de type cratères et caldera du massif du piton des Neiges. Les intrusions trachy-syéénites soulignent les effondrements calderiques de grande ampleur.

dans la zone centrale du volcan (dans un rayon de 5 km environ autour du piton des Neiges) où la densité des intrusions est très élevée et a occasionné un gonflement du coeur du massif. Mais en dehors de cette zone, la bréchification peut être due à des arrachements qui ont donc dû exister dès la phase II.

A ces structures rectilignes régionales se superposent les structures d'effondrement curvilignes locales. Elles sont de 2 types (fig. 12).

- Les effondrements de type caldera, soulignés par des intrusions (trachysyénites dans Cilaos et Salazie) ou par l'érosion des rivières (rivières Saint Denis).
- Les effondrements de cratère ou de caldera sommitale, tels ceux du sommet du piton des Neiges.

. Les structures d'érosion dans les cirques

Elles se calquent ou reprennent les structures tectoniques préexistantes qu'elles estompent et font parfois totalement disparaître dans un paysage de bad-land.

Elles sont de plusieurs types (fig. 7).

- Les écailles de réajustement tardif des remparts (processus de réajustement des grandes parois d'effondrements, d'ampleur décimétrique à hectométrique), sont peu nombreuses et assez mineures (fig. 13) ;
- Les écailles de 1ère génération des panneaux effondrés (îlets) (fig. 20) :
 - . glissement-tassement d'ampleur hectométrique à kilométrique, dont les plus représentatifs sont ceux de Mare à Poule d'Eau et de Mare à Citrons (fig. 14).
 - . décollement d'écailles verticales le long de dykes comme celui de Grand Sable (fig. 15).

. Conclusions sur les phénomènes d'érosion

La Réunion est caractérisée par un relief important très jeune édifié très rapidement (en quelques dizaines à centaines de milliers d'années), affecté par une des structures volcaniques d'effondrement. L'ensemble des massifs présente un pendage aval général vers la mer de l'ordre de 5° à 10°. Des formations volcaniques particulières (intrusions-dykes et sills ; niveaux de cendres ou de pyroclastites) constituent souvent des zones de décollement préférentielles. Par ailleurs, un léger soulèvement d'ensemble, allié à l'agressivité de l'océan, contribuent à la formation de falaises dans les zones côtières et à leur évolution rapide (éboulements). Rappelons enfin la situation particulière des cirques et de leur remplissage par des panneaux entiers de brèches d'écroulement.

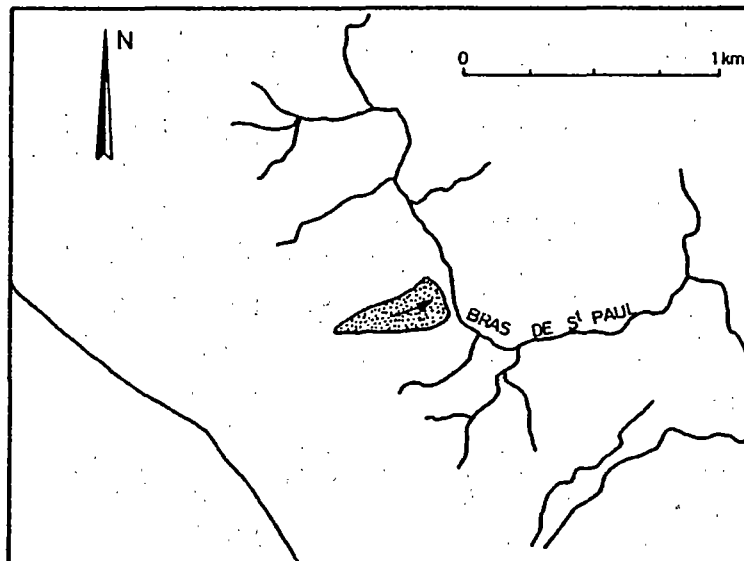


Figure 13 - Cartographie de l'écaille rocheuse glissée du rempart de Cilaos sur le bras de Saint Paul (1/25 000). Sa largeur à la base est de l'ordre de 200 m, sa hauteur de l'ordre de 400 m (détail au chapitre II, p. 37).

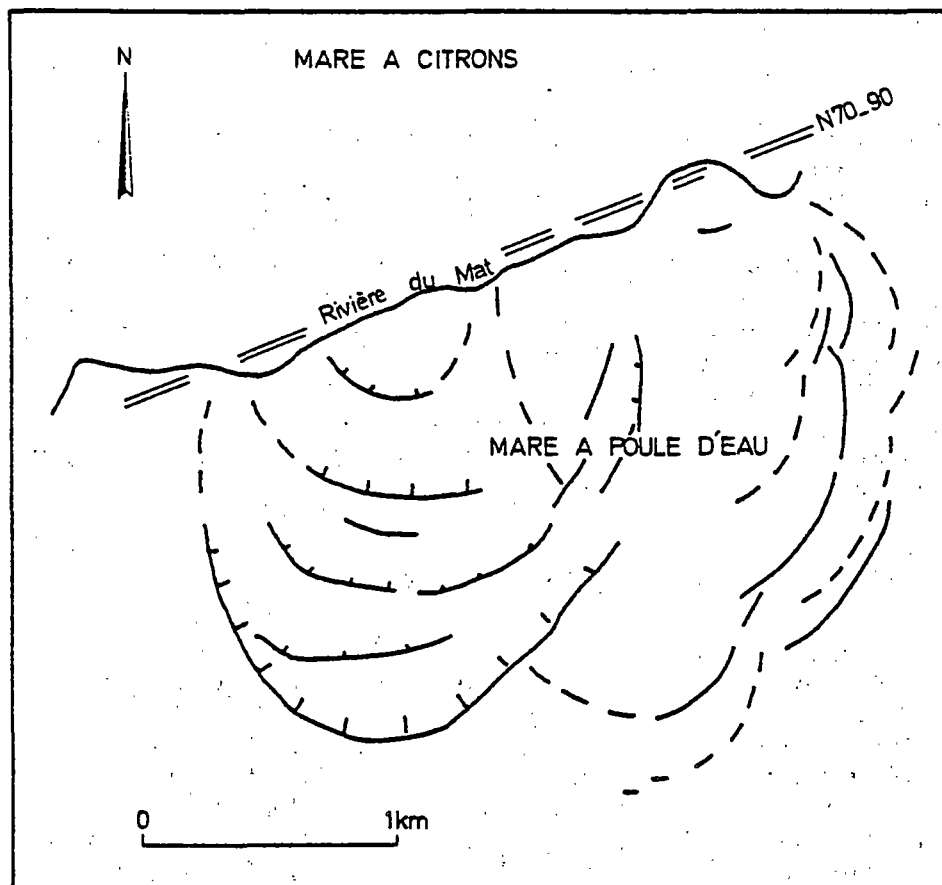


Figure 14 - Bordure du panneau effondré de Mare à Poule d'Eau (cirque de Salazie) sur sa bordure de la rivière du Mât. On retrouve la structure ancienne d'empilement des laves déformées, fragmentées : il s'agit ici de la série des basaltes à feldspaths de la phase III. Les glissements en loupes d'ampleur kilométrique sont tous dirigés vers la rivière du Mât. La direction tectonique N70-90, dont l'action est amplifiée par l'érosion de la rivière du Mât dans ce secteur, est le déclencheur de ces mouvements de fond.

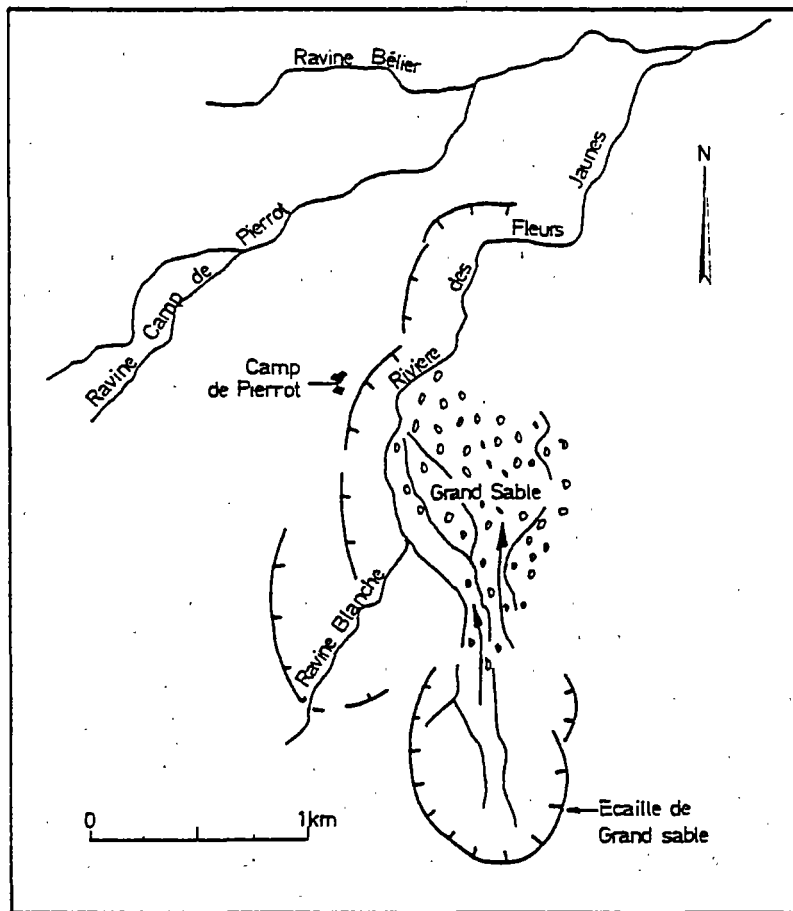


Figure 15 - Exemple d'arrachement d'écaille dans Salazie, la surface de décollement étant un dyke d'alimentation du piton des Neiges. Cet évènement date de 1875 et a fait 62 morts ; des blocs ont été projetés jusqu'au Camp de Pierrot. Une habitation de Grand Sable et ses habitants (les seuls survivants) située sur les bordures du glissement, ont été déplacés vers l'aval de 2 km ! (VINSON, 1876 et chap. III).

Tous ces facteurs concourent à créer une situation favorable à une érosion exceptionnelle, tant par sa rapidité, par sa continuité que par son ampleur. Les précipitations annuelles, violentes et abondantes, marquent alors profondément le paysage : rivières encaissées de plusieurs centaines de mètres, remparts des cirques vertigineux et lisses, îlets des fonds des cirques dévorés de façon continue, falaises côtières en évolution permanente.

3 - OCCUPATION DU SOL ET DEVELOPPEMENT

Au XIX^{ème} siècle, dès le début de la colonisation des cirques, la fragilité des sols a été reconnue et l'on s'aperçut que l'activité humaine par culture sur brûlé, et par tout autre moyen de défrichement, augmentait cette fragilité en déclenchant des phénomènes d'érosion qui conduisaient rapidement à la ruine des sols.

Des réglementations furent décidées par le décret de 1839 pour le cirque de Salazie et reprises par l'arrêté du 2 septembre 1840 pour le cirque de Cilaos. Elles fixaient les limites des concessions gratuites accordées aux habitants.

"Le souci de protéger le sol et la forêt fit décider que les "Domaines" garderaient la propriété des cours d'eau, de l'encaissement des ravines jusqu'à 10 m au-delà du bord, des sources et de leur alimentation, des étangs, des pitons et pentes de plus de 45°, pour y interdire tout déboisement et empêcher ainsi la ruine des sols par l'érosion. Les pentes entre 30 et 45° ne pourraient être défrichées qu'à condition d'y planter dans l'année des caféiers ou d'autres arbustes ; une réserve de terrain était prévue pour la construction d'un village ; une route serait construite jusqu'à Saint Louis". (1)

De nos jours, la propriété des "Domaines" dans les cirques se trouve réduite aux remparts et à certaines zones difficilement accessibles.

Le nombre des habitants des cirques a régulièrement augmenté, allant jusqu'à une surexploitation des moindres parcelles cultivables. Mais, dans la période récente, l'attrait des villes provoque un exode rural notable. Avec la départementalisation de l'île, des investissements importants permettent d'équiper les "Hauts" en infrastructure et équipements collectifs. Ces réalisations et projets se placent sur des terrains chaotiques et instables au départ, soumis de surcroît à des précipitations violentes et intenses. Ces eaux superficielles et souterraines, sans commune mesure avec ce que l'on connaît sur les zones côtières de l'île, ont une action dévastatrice colossale, mal appréciée sinon méconnue des gens habitant hors des cirques. Par ailleurs, l'expérience des vieux habitants des cirques a été vite oubliée ou reste dans le domaine oral, ce qui fait que certains projets d'aménagement voient le jour sans tenir compte de cette expérience.

Depuis quelques années, la population des cirques diminue à cause de l'exode rural, provoquant ainsi l'abandon de certaines terres autrefois cultivées et entretenues pour les maintenir en l'état ; ce fait augmente la sensibilité des terrains vis-à-vis de l'érosion. Malgré cette tendance, la densité de population est telle que l'exploitation de la forêt et des taillis, pour le bois de feu et pour le bois d'oeuvre agricole, tend à restreindre la superficie et la qualité du couvert forestier et par conséquent la protection des sols.

Actuellement, le plan d'aménagement des "Hauts" vise à fixer la population et à relancer l'activité humaine dans les cirques. Par ailleurs, les administrations gardent le souci d'apporter aux populations des cirques une plus grande sécurité vis-à-vis des risques naturels liés aux actions de l'eau. Il s'agit là en fait de vœux contradictoires puisque généralement l'activité humaine, par ses répercussions sur le couvert végétal et forestier, augmente l'emprise des risques naturels. Mais, d'une certaine façon, et nous le disons dans notre conclusion générale, une montagne "entretenu" -en "voie de développement"- par ses habitants, peut être un facteur favorable à la lutte contre l'érosion. Mais il faut que ce développement soit orienté et contrôlé en tenant mieux compte des éléments naturels au niveau des plans d'occupation des sols (P.O.S.) et en fixant des limites aux activités de l'Homme, limites susceptibles d'augmenter directement ou indirectement les effets néfastes des phénomènes naturels (glissements de terrains, ravinement, inondations...).

(1) Extrait de : "La Revue de géographie de Bordeaux - Cahiers d'Outre-Mer, n° 35. juil.-sept. 1956, p. 263-313.

CHAPITRE II

LES FORMES DE L'EROSION



Glissement coulée de roche plate à Grand Ilet, dans le
cirque de Salazie (janvier 1980)

La présentation détaillée du cadre de l'étude fournit déjà des indications relativement précises sur le contexte des différents désordres observés dans les cirques, sur les facteurs qui sont à l'origine de la généralisation de l'érosion dans ces secteurs. Il faut cependant en faire le rappel avant d'analyser et d'illustrer les principaux processus de l'érosion et ses manifestations les plus caractéristiques, qu'elles soient mineures ou majeures.

1 - PRINCIPAUX FACTEURS DE L'EVOLUTION ACTUELLE DES CIRQUES

Ces facteurs sont, en principe, nombreux mais on peut cependant les regrouper en deux familles. Les uns, comme la topographie, la géologie (lithologie, structure...), la géomorphologie dynamique (mouvements...), l'hydrogéomorphologie (circulation des eaux souterraines, drainage superficiel...) peuvent être qualifiés de facteurs permanents. Les autres sont des facteurs temporels ou accidentels, liés par exemple à la climatologie (précipitation...), à la végétation, à certains effets de l'activité humaine (routes, constructions...).

1.1 - En premier lieu, pour quiconque pénètre dans les cirques, le fait le plus frappant est la raideur des versants et l'importance des dénivellations. En effet, les cirques se définissent par le morcellement et la vigueur de leur relief. Les compartiments topographiques, en relief ou en creux, bien individualisés en unités de taille limitée mais variable (îlets, massifs, remparts...) s'organisent suivant un schéma semblable dans l'un ou l'autre des cirques. Ceinturés par les remparts, atteignant parfois 1 000 m de haut, les secteurs en relief sont intensément disséqués par quelques grandes rivières et un très grand nombre de ravines affluentes qui gagnent en quelques kilomètres les niveaux de base proches, à hauteur des exutoires des cirques. Des plateaux, largement déployés ou restreints à quelques arpents de terre, des crêtes étroites, isolent des vallées profondes où alternent gorges et petits bassins. L'apparence montagnarde de ces reliefs résulte ainsi plus de l'encaissement des vallées et des ravines, de la longueur et de la raideur de leurs versants dont les dénivelées sont parfois de l'ordre du millier de mètres que de l'altitude absolue des crêtes et des îlets qui atteignent difficilement 1 000 m.

1.2 - La prépondérance d'un matériel hétérogène dans des structures complexes liées aux processus d'effondrement constitue un second facteur favorable à l'évolution rapide de certains versants ou talus. En effet, l'intérieur des cirques offre une accumulation de formations bréchiques sur plusieurs centaines de mètres d'épaisseur. Les variations de faciès sont nombreuses et l'origine de ces brèches très diverses : brèche d'activité volcanique, brèche d'effondrement, d'éboulis, coulées de boue, brèches remaniées... Ainsi, cette quantité énorme de produits détritiques offre une résistance à l'érosion, plus ou moins élevée selon le degré de consolidation de ces matériaux et la fréquence des accidents (failles, fractures...) et des intrusions (dykes, sills) rencontrés qui émaillent en tous sens ces dépôts. Les intrusions jouent un rôle très important car les structures "aval pendage" sont, en effet, très défavorables à la stabilité des terrains. Comme on l'a vu précédemment, la grande hétérogénéité spatiale du matériau ne permet guère de dégager des règles générales commandant l'érosion ; seul l'examen secteur par secteur peut fournir des éléments d'appréciation au niveau des unités dites d'"érosion".

1.3 - Les précipitations abondantes et prolongées de la saison chaude (et bien sûr, particulièrement durant les périodes cycloniques) représentent le dernier facteur important, le plus déterminant de tous. Si l'on examine les cirques de Salazie et de Cilaos, les hauteurs d'eau moyennes annuelles sont respectivement de 3,40 m à Hell Bourg et de 2,30 m à Cilaos, tandis que sur le littoral "sous le vent", elles sont de l'ordre de 0,5 à 1 m seulement. Mais plus que ces moyennes, ce sont les précipitations exceptionnelles qui sont dangereuses ; presque chaque été des abats d'eau de près de 1 m se concentrent sur des courtes périodes avec des intensités très élevées. Mais c'est lors des pluies cycloniques que les records sont battus : ainsi, du 16 au 27 janvier 1980, c'est-à-dire durant douze jours, les précipitations ont atteint plus de 5 m à Grand Ilet, près de 3,50 m à Hell Bourg et 3,10 m à Cilaos. Certains jours, on a enregistré des moyennes quotidiennes allant de 0,5 m à près de 1 m à Grand Ilet. Ce sont donc les périodes actives de l'érosion avec ses manifestations les plus diverses : ruissellement, ravinements, glissements de terrain, coulées boueuses, éboulements, sapements de berges, débordements torrentiels, accumulation d'eau dans les mares,...

La conjonction d'un relief vigoureux et d'une lithologie localement favorable avec une pluviosité abondante et parfois catastrophique explique en définitive la violence exceptionnelle de l'érosion et la variété de ses effets, se manifestant de façon spasmodique, à l'occasion de "crise cataclysmale".

2 - EROSION LIEE AU CHEMINEMENT DES EAUX SUPERFICIELLES

Les pluies exceptionnelles qui se sont abattues sur la Réunion lors du cyclone "Hyacinthe", en janvier 1980, ont été, par leurs conséquences catastrophiques, un puissant révélateur des événements qui peuvent se produire en pareil cas. Les processus mis en jeu, à cette occasion, à savoir : érosion, transport, dépôt - bien que semblant sortir de l'ordinaire, ne sont jamais que l'exacerbation de tendances profondément inscrites dans le paysage et dans les événements de chaque saison. Leurs descriptions et leurs analyses, qu'il s'agisse de formes mineures comme le ruissellement, le ravinement... ou de forces majeures telles que glissements, écoulements, coulées... s'inscrivent dans la connaissance qu'il faut acquérir pour mieux contrôler leur évolution et se prémunir de leurs néfastes effets.

De nombreuses formes superficielles d'érosion, de très petite taille, dont les mécanismes sont souvent peu perceptibles, se retrouvent soit sur les versants ou les replats en culture, soit sur les talus érodés et à nu, soit encore dans les zones de végétation. Erosion pluviale, ruissellement, éboulements remodelent sans cesse les surfaces topographiques. Il faut les décrire brièvement, car comme pour le ravinement, elles jouent un rôle non négligeable dans la mise en valeur des sols (culture, boisement...) ou dans la lutte anti-érosive. Dans ces processus élémentaires de l'érosion, l'opposition entre les versants dénudés (zone d'érosion active ou secteurs mis en culture) et ceux qui offrent une couverture végétale naturelle ou provoquée est ici fondamentale. Dans le premier cas, à chaque forte pluie, les sols sont remobilisés et entraînés vers l'aval, tandis que sous couverture végétale, la sensibilité est naturellement moins grande et les formes de cette érosion mineure, loin d'être ainsi généralisées, sont beaucoup plus strictement localisées en quelques zones critiques.

2.1 - EROSION PLUVIALE

La pluie qui tombe sur le sol exerce une action d'arrachement et de dislocation sur les particules terreuses. Cet effet agressif varie avec les différents paramètres de la précipitation : intensité, durée, quantité... La brutalité des pluies tropicales joue un rôle mécanique prépondérant. Mais ses conséquences sont variables suivant les propriétés du sol qui offre une résistance plus ou moins prononcée. Or, dans les cirques, les "brèches" et les sols qu'elles engendrent sont d'une telle diversité qu'il est difficile de distinguer, à l'échelle du travail entrepris, les différents niveaux de l'action érosive de la pluie. Nous le rappelons davantage parce qu'elle prépare les étapes ultérieures de l'érosion (tel que le transport par ruissellement qui a ses effets propres).

2.2 - RUISSELLEMENT

Si l'érosion d'impact de la pluie agit surtout en tant que facteur de destruction de la surface du sol, le ruissellement intervient ensuite comme agent de transport. Cette action de transport affecte aussi bien les éléments du sol disloqués par la pluie que ceux arrachés par le courant d'eau.

Le ruissellement se déclenche dès que le sol cesse d'absorber la totalité de la pluie ; il se forme à la surface une lame d'eau qui s'épaissit et s'écoule suivant la pente. Son effet érosif n'apparaît que si la vitesse dépasse un certain seuil, donc si la pente est suffisamment forte pour un débit donné. Il est facile d'imaginer l'importance de cette érosion dans les cirques où elle trouve toutes les conditions requises à ce type d'activité (pourcentage très élevé de talus et de versants à forte pente, grande extension des terrains dénudés, soit naturellement, soit dans le cadre de la mise en culture des terres, hétérogénéité des terrains plus ou moins consistants) le tout étant lié, à la saison des pluies, à de fréquentes précipitations de forte intensité.

Bien que les premières manifestations du ruissellement soient qualifiées de diffuses (et cela d'autant qu'il agit sous couverture végétale dense et sur pente faible), il va rapidement évoluer vers un ruissellement de type concentré, générateur de rigoles et de ravins - processus de ravinement - mais aussi d'inondation et d'alluvionnement rapides.

On passe ainsi à des formes superficielles d'érosion, de plus grande taille, mieux individualisées et qui marquent irrémédiablement le paysage, vu leur importance et leur extension.

2.3 - RAVINEMENT - CHUTE DE PIERRES ET DE BLOCS

Ce type d'érosion, qui se manifeste sur le terrain par l'existence de rigoles et de ravins plus ou moins profonds et par ses conséquences (creusement, sapement des berges, débordement torrentiel, inondation...) est l'une des premières contraintes, particulièrement pesante au niveau des aménagements de toutes sortes (agricoles, forestiers, routiers, urbains...). Les rigoles et

ravins résultent, en effet, de l'écoulement concentré affectant les talus, les versants mais également déjà les fonds des vallons et des petites vallées ; on passe donc insensiblement aux formes de l'écoulement fluvial telles qu'on les connaît dans la rivière du Mat, bras Rouge...

. Les rigoles apparaissent sur les versants sous forme de petits sillons profonds de quelques dizaines de centimètres, parallèles les uns aux autres, suivant la ligne de plus grande pente. Provoquées par la concentration du ruissellement, elles naissent lorsque la pente augmente. Nous avons pu les observer dans de nombreux endroits, mais répartis de façon très inégale sur la bordure et les versants de certains îlets ; sur les cônes d'éboulis en bordure des remparts, dans certains secteurs cultivés, dans la couverture détritique de surfaces structurales correspondant à des intrusions (coulées-sills). Mais très rapidement ce type d'érosion est oblitéré par la formation de ravine.

. Les ravins ou ravines sont des "topographies" de grande taille, larges et profondes, que l'on rencontre à la fois sur les versants et au fond des vallons. Généralement bien individualisés, leur taille et leur profil longitudinal et transverse sont très variables, leur dynamisme érosif également. Les cirques présentent tous les niveaux de cette différenciation avec toutes les conséquences que cela entraîne (érosion, transport, alluvionnement rapide...).

- Il existe des ravines peu actives aussi bien dans les secteurs de roches résistantes (coulées et intrusions basaltiques, brèches consolidées...) que sur les matériaux plus tendres (dépôts pyroclastiques, couverture détritique...). Ces entailles, profondes de quelques mètres, évacuent les eaux, sans qu'il y ait ni creusement, ni accumulation, ni débordement. C'est le cas d'un certain nombre de ravines descendant du massif du piton des Neiges, tant côté Salazie que côté Cilaos. Leur tracé est extrêmement sinueux, se heurtant sans cesse à des horizons résistants, tant latéralement qu'en profondeur. Très souvent, de gros blocs rocheux pavent leur lit et une végétation parfois abondante tapisse leurs bordures. Tout ceci explique la médiocre entaille de ces ravines.

- La majorité des ravines sont, au contraire, le siège d'une érosion vigoureuse en période de pluies : ce sont les ravines actives. Elles évoluent rapidement soit par creusement linéaire, soit par évolution latérale et elles sont la cause principale des désordres observés dans l'ensemble des cirques ; champs inondés, routes coupées... Ces ravines sont de taille variable mais peuvent atteindre fréquemment plusieurs dizaines de mètres de profondeur, sinon plus comme celles des affluents rive gauche de Bras Rouge, dans le cirque de Cilaos. Si leur activité érosive est grande à chaque forte précipitation, elle ne l'est pas de façon continue tout le long de leur tracé et les sections actives alternent avec celles qui le sont moins. Cette discontinuité est due essentiellement à la présence d'un seuil de roche dure (brèche consolidée, sill basaltique...) qui bloque le creusement à l'amont empêchant ainsi toute élévation de pente longitudinale de la ravine. A l'aval de la rupture de pente, l'activité reprend sa place, tempérée un peu plus loin par un autre seuil. Certaines ravines peuvent aussi ne présenter aucun seuil tout au long de leur cours. L'action érosive tant par creusement linéaire, que par sapement des berges induisant glissements et arrachements latéraux, atteint alors son paroxysme. Des paquets entiers de matériaux s'abattent alors au fond de la ravine et l'eau mobilise immédiatement ces débris lorsque leur volume n'est pas trop important, formant ainsi une lave torrentielle. Dans le cas contraire, il se forme un barrage naturel qui peut être un danger potentiel pour l'aval, en cas de rupture brutale.

Lorsque des ravines à profil longitudinal très redressé se ramifient et se multiplient au point de couvrir l'ensemble d'un versant, on est en présence d'un ravinement généralisé, à l'origine d'un type de paysage qualifié de bad-land. Il se rencontre fréquemment dans le cirque de Cilaos sur les versants orientaux de l'îlet à Cordes, sur les pentes de cap Noir, de l'îlet Plateforme mais aussi à Salazie sur les versants de Grand Ilet par exemple. Lorsque ce type de ravinement n'est pas bloqué dans son ensemble par un seuil, fixant temporairement le niveau de base de l'érosion, il est très difficile d'enrayer le processus bien que la végétation s'accroche assez rapidement aux pentes.

2.4 - ALLUVIONNEMENT RAPIDE - INONDATION

L'eau, principal agent érosif, ruisselle et se concentre dans les rigoles et les ravines pour ensuite être évacuée par les rivières jusqu'à la mer. Mais les descriptions précédentes font déjà présager toutes les conséquences particulièrement graves qui risquent de se produire si la charge solide et le débit des eaux collectées deviennent élevés. A cet effet, les pluies cataclysmiques qui se sont abattues sur la Réunion, en janvier 1980, ont mobilisé des quantités d'eau extraordinaires, sans comparaison avec aucune des observations et mesures connues à ce jour. Comme on le verra au prochain chapitre, à l'érosion par les eaux superficielles s'ajoute une érosion en grande masse liée à des mouvements de terrains qui, pour la majorité, ont suivi le processus complet d'évolution à savoir glissement-arrachement, coulée de boue, lave torrentielle. Ainsi, suivant la violence des pluies et le modèle des profils, les eaux des ravines et des rivières sont des agents de transport ou de dépôts des matériaux mobilisés par le ravinement, les glissements de terrains, les éboulements...

Les conditions d'écoulement d'un torrent, d'un cours d'eau, déterminent en effet, en chaque point, la dimension maximale des éléments susceptibles de rester en suspension. Au-dessus de cette dimension limite, les matériaux se déposent progressivement sur le fond. Un alluvionnement très important s'est fait, par exemple, à l'amont des goullets ou gorges sur de nombreuses portions des rivières des cirques. Ainsi, dans le lit du Bras de Cilaos, à la hauteur de Trois Bras, il s'est accumulé près de 6 m de matériaux à l'amont du goulet d'étranglement du parc à Dennemont, lors des crues catastrophiques de janvier 1980. Ces dépôts fins vont être à nouveau mobilisés au cours des prochaines années, le cours d'eau retrouvant ses conditions d'écoulement liées aux crues habituelles, où priment davantage le transport et l'érosion que l'alluvionnement.

Dans les ravines et les torrents en crue, d'autres conditions peuvent apparaître, liées à la forte charge en matériaux solides fournis par l'érosion intense des versants en période de pluies exceptionnelles ; c'est le transport de très gros blocs rocheux par les eaux, facilité d'autant plus que la densité du flot boueux est plus élevé. C'est ce qui explique que, durant le cyclone de janvier 1980, des volumes importants de blocs et de rochers, apparemment immuables, ont été remobilisés au sein de cours d'eau transformés en torrents de boue. Dans le cas contraire, les blocs, d'un volume trop élevé pour être déplacés et provenant pour la plupart des dykes ou sills désorganisés sur place, ou bien encore du produit de grands éboulements anciens, sont l'objet d'un déchaussement lorsqu'ils reposent sur un matériau érodable. Ils s'enfoncent alors ou bien, comme on a pu l'observer à bras Rouge sur la route de l'îlet à Cordes, ils peuvent rester suspendus entre les parois à la base desquelles coule le torrent.

La perturbation du profil initial des rivières et des torrents dans les cirques sont donc nombreuses après chaque pluie importante ou exceptionnelle : érosion des berges, creusement linéaire, alluvionnement, débordement torrentiel, inondation... ont modelé un nouveau visage à chaque cours d'eau, commandant ainsi l'évolution de leur profil, tant longitudinal que transverse, pour les années à venir.

En vue des mesures à prendre en matière d'aménagement, d'équipement, de développement agricole... il faut donc retenir que cette évolution est extrêmement fluctuante en fonction du régime essentiellement torrentiel des eaux dans les cirques et des conditions d'écoulement correspondant en gros à trois périodes : celle des eaux normales, celle de crue annuelle et enfin celle de crue exceptionnelle. Au total, ces trois évolutions se combinent mais l'évolution est beaucoup plus rapide pendant les crues qu'en eaux normales et, à plus forte raison, pendant les crues exceptionnelles. En janvier 1980 à la Réunion, les modifications survenues durant les 13 jours de pluies consécutives sont plus nombreuses que toutes celles qui se sont produites durant les dernières décennies, sinon le dernier siècle.

En résumé, l'érosion liée au cheminement des eaux superficielles à travers le ruissellement, le ravinement, le transport des matériaux solides et l'évolution du lit des ravines, crée donc, comme le cyclone Hyacinthe l'a révélé, de lourdes menaces sur l'économie des cirques, entraînant la disparition des terres de cultures, la destruction d'ouvrages (routes, pylônes, canalisations...), l'inondation de certaines zones d'habitat.

Dans un prochain chapitre, nous examinerons les moyens de protection qui pourraient être envisagés pour limiter, sinon écarter les dangers qui en résultent sachant très bien que le processus d'érosion dans les cirques est inexorable à l'échelle géologique.

3 - EROSION LIEE AUX MOUVEMENTS DE MASSE ET A L'EAU SOUTERRAINE

C'est elle qui, durant les périodes de fortes précipitations et plus particulièrement au cours des pluies cycloniques, perturbe le plus visiblement le modelé des versants. Elle se manifeste par un ensemble de mouvements superficiels et profonds qui affectent très durablement les sols, les formations détritiques, les brèches et les coulées.

Les conditions favorables à ces mouvements ne manquent pas dans les cirques : importance des précipitations, pentes fortes, talus verticaux, abondance de formations hétérogènes et peu consolidées, surfaces structurales privilégiées. Les processus et les formes actuelles sont rarement bien individualisées ; arrachements, glissements, tassements, coulées, éboulements, laves torrentielles... se combinent très fréquemment mais aussi se détruisent naturellement. C'est l'un des caractères originaux des mouvements de masse dans les cirques, source de difficulté pour l'observateur qui cherche à reconstituer la dynamique des matériaux déplacés. En effet, ceux-ci disparaissent rapidement, soit au cours du mouvement, soit dans les semaines ou les mois qui suivent l'événement, les eaux jouant le rôle d'évacuateur comme on l'a vu au chapitre précédent. Paradoxalement, les processus et les formes anciennes sont parfois

plus facilement déchiffrables car, tout en résultant d'actions analogues à celles d'aujourd'hui, les conditions morphologiques (niveau d'érosion, relief...) étaient telles que cet héritage a pu se transmettre jusqu'à nous. Il est d'autant plus précieux à mettre en relief que ces zones de mouvements anciens sont celles qui sont les plus sensibles aux désordres actuels.

3.1 - MOUVEMENTS RECENTS ET ACTUELS

L'étude ayant pu se dérouler dans les quelques mois qui ont suivi le cyclone Hyacinthe, nous décrirons plus particulièrement ceux qui sont apparus à cette occasion. Bien que, résultant d'une situation qualifiée d'exceptionnelle, les événements répertoriés et analysés en détail offrent un échantillonnage assez complet et nous le regrouperons en quatre grandes catégories.

. Glissements superficiels et arrachements

Ils n'affectent généralement que la couverture détritique des terrains ou la partie supérieure des matériaux bréchiques plus ou moins altérés sur une épaisseur de quelques mètres. Ils s'effectuent le plus souvent suivant un plan, la rupture ayant lieu au niveau d'une discontinuité qui met en contact des matériaux de compétence différente : brèches remaniées et brèches consolidées, formations détritiques, éboulis et sills, horizons d'altération et roches saines etc.. L'eau piégée à ce contact joue, bien sûr, un rôle primordial dans le mouvement comme d'ailleurs la direction et le pendage des discontinuités par rapport au versant.

L'eau est ainsi à l'origine de nombreux arrachements que l'on rencontre sur les versants, sur les talus routiers, dans les remblais, sur les berges et à l'amont des ravines. Nous les distinguons des glissements superficiels, par leur dimension qui est moindre (quelques mètres à décamètres carrés) et leur action sur les terrains dit "en coup de cuiller".

Dans tous les cas, glissements et arrachements produisent les mêmes effets. Apparaissant sur des fortes pentes, les matériaux déplacés, même de faible volume, vont rapidement dévaler la pente emportant la végétation et érodant les terres. "S'engraissant" ainsi en cours de parcours, les matériaux glissés peuvent atteindre en fin de course des volumes bien supérieurs à ceux initialement arrachés. Ces cicatrices, parfois encore vivantes s'observent d'autant mieux qu'elles s'incrivent dans le couvert végétal ou dans la forêt, sous forme de grandes trainées. Suivant l'ampleur du mouvement, elles peuvent atteindre la base du versant ou bien s'arrêter avant.

En eux-mêmes, ces mouvements ne sont pas dévastateurs car de faible extension et d'origine superficielle ; ils n'affectent pas les terrains en profondeur. Ils sont pourtant très contraignants pour les petits agriculteurs qui voient périodiquement leurs arpents de terre arable disparaître à la suite d'un gros orage ou de pluies prolongées. Pour les forestiers, également, qui doivent replanter les secteurs détruits afin d'éviter que le ravinement s'installe. Comme pour le ravinement, ce type de mouvement fournit chaque année son lot habituel de désordres et de dégâts d'autant plus élevés que les précipitations sont fortes.

. Glissements et coulées

En abordant cette deuxième catégorie de mouvements (et de même que pour les deux prochaines), nous traitons des événements qui, par leur ampleur, leur extension mais aussi leur fréquence d'apparition, se situent, non plus dans le lot habituel des formes d'érosion, mais dans celui qui correspond aux périodes de pluies exceptionnelles. Ce qui s'est produit par exemple à Grand Ilet, dans le cirque de Salazie relève de cette distinction. Notre enquête a montré, en effet, que les deux grands glissements de janvier 1980 sont des événements, de mémoire d'homme, assez rares. Mais l'observation et l'analyse des versants de Grand Ilet laisse par contre, supposer qu'ils ne le sont pas pour des périodes plus longues, à l'échelle du siècle.

Le glissement de Roche Plate, à Grand Ilet est de grande taille car il affecte le versant dominant la ravine Fleurs Jaunes sur près de 1 000 m de longueur, entre les cotes 850 et 650. On retrouve à l'amont la cicatrice d'un grand arrachement, zone de départ des matériaux détritiques et bréchiques qui ont emprunté le trajet d'une petite ravine pour s'étaler ensuite vers l'aval, sous forme d'une langue recouvrant les terrains de Roche Plate. L'examen des photographies aériennes antérieures au glissement, comparées aux observations actuelles, montre un très net élargissement et approfondissement de la ravine. A mi-pente, à l'endroit où une case fut engloutie avec ses 10 occupants, le rétrécissement initial de la ravine n'a pu canaliser la coulée de boue, qui a ainsi débordé de part et d'autre, atteignant puis détruisant la route et se répandant plus bas sur près de 100 m de largeur. La majeure partie des matériaux provenant du glissement survenu en tête de l'ancienne niche d'érosion ont disparu. La coulée a entraîné vers l'aval terre, végétation, habitation et d'autant plus facilement et rapidement qu'elle progressait sur une surface structurale de pendage conforme à la pente et constituée d'un sill trachytique.

La reconstitution des faits permet d'expliquer les mécanismes de ce mouvement qui, comme celui de la ravine Jacquot, est particulièrement dangereux à cause de sa soudaineté et de la rapidité d'écoulement des produits du glissement amont. On se souvient que durant le cyclone, les précipitations ont dépassé 5 m d'eau avec, par exemple, le 26 janvier 1980, une quantité d'eau supérieure à 1 m. La topographie de Grand Ilet, en relief et en creux avec de nombreuses petites cuvettes fermées, était donc propice à la collecte des eaux qui s'accumulèrent parfois sur des hauteurs supérieures à la dizaine de mètres. Le cimetière de Grand Ilet eut à souffrir de cet état et resta inutilisable pendant plusieurs jours. Ainsi, à l'arrière du grand arrachement qui se transforma en coulée, toutes les dépressions étaient remplies d'eau inondant même certaines habitations. Contrairement aux talus avoisinants qui crachaient l'eau de toutes parts, il n'y eut aucune venue d'eau au niveau des parois qui allaient être bientôt détruites par le glissement. L'eau s'est donc mise en pression dans les terrains, à l'arrière de l'arrachement, peut-être y a-t-il eu des poches d'eau. A la rupture, la transformation quasi instantanée du glissement en coulée, par suite de l'abondance de l'eau, expliquerait la soudaineté du mouvement et sa grande extension liée à la fluidité des matériaux (fig. 16).

Ce type de mouvement, caractéristique des versants de Grand Ilet est en définitive très dangereux car il peut provoquer, soit directement (arrachement amont), soit indirectement (coulée de boue très loin à l'aval) de très importants dégâts et surprendre la population par la brutalité de son apparition.

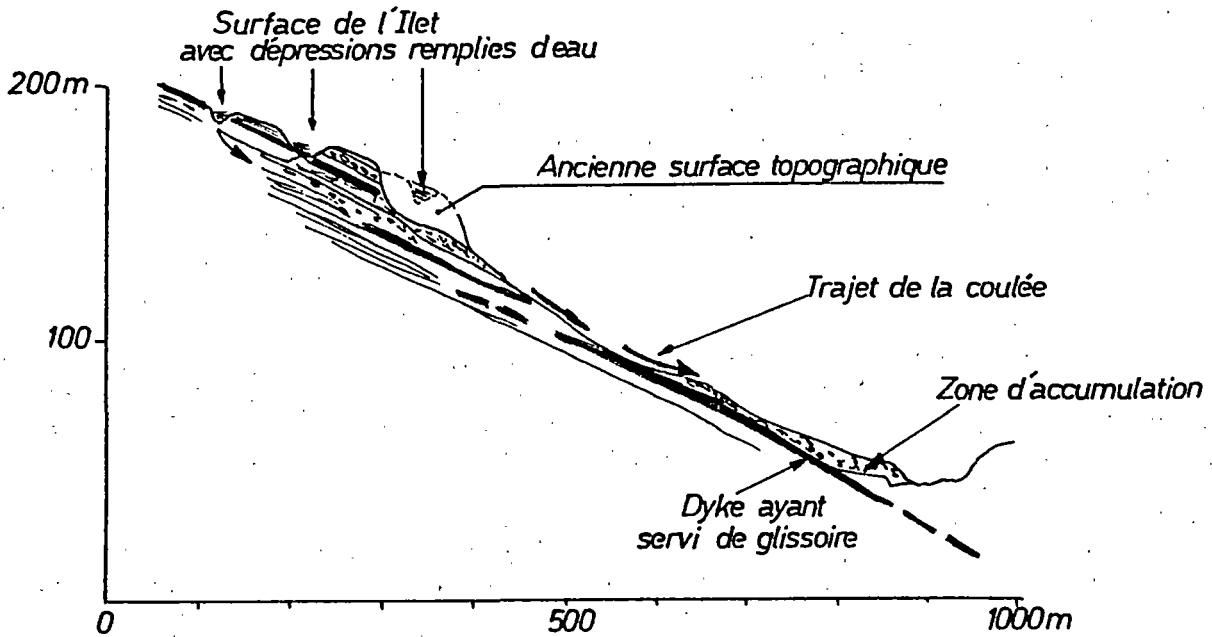


Figure 16 - Glissement - coulée. Coupe schématique

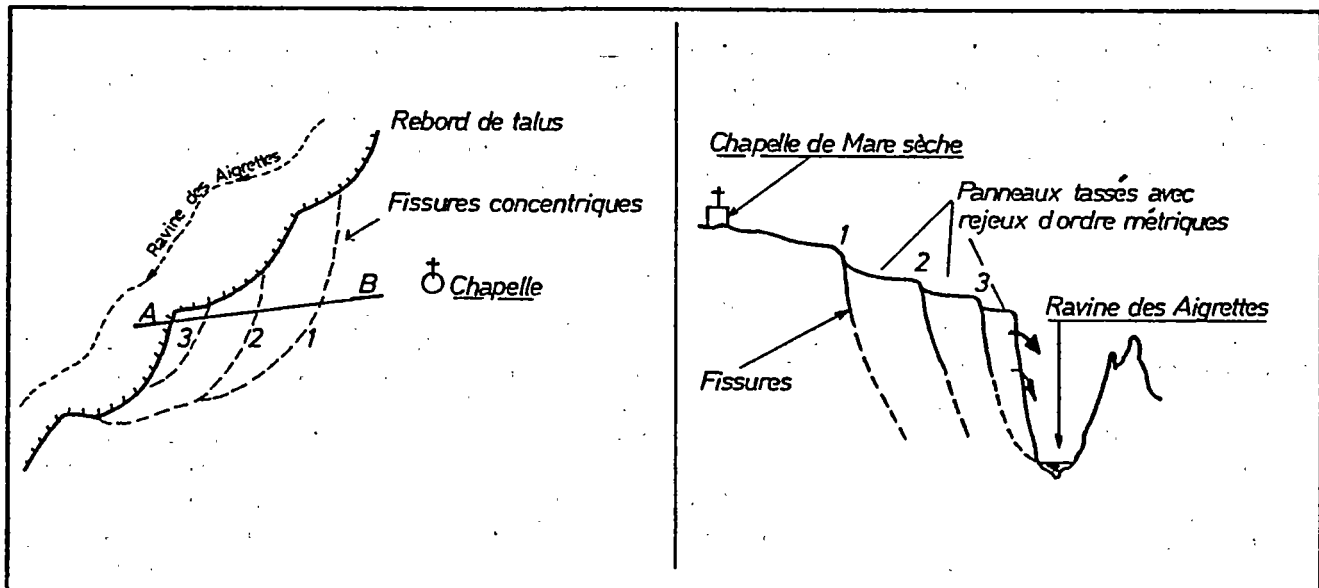


Figure 17 - Tassement-éboulement

a
Vue en plan.

b
Vue de profil (A-B)

. Tassements et éboulements

Comme la précédente, cette catégorie de mouvement fait partie des événements importants mais non habituels car ils n'apparaissent qu'à la suite de précipitations exceptionnelles. Localisés en bordure de plateaux, aux endroits où les talus sont quasi verticaux sur quelques centaines de mètres de haut, ils affectent parfois des pans entiers de falaises (route de Cilaos à Mare Sèche...) ou bien une tranche continue comme le talus du kiosque d'Hell Bourg, au-dessus de l'ancienne mare à Poule d'Eau. L'un et l'autre étant caractéristiques nous allons les décrire tous les deux.

A Mare Sèche (cirque de Cilaos), la route a été coupée par un gigantesque éboulement, emportant toute la portion du virage qui se rapprochait dangereusement du talus à la verticale au-dessus de la ravine des Aigrettes et haut, à cet endroit, d'environ 200 m. Comme toujours, les matériaux déplacés ne sont plus observables mais l'enquête orale, auprès des voisins, et l'examen des abords de la corniche permettent de reconstituer le processus. Un peu plus au Sud, en prenant le chemin qui mène à la chapelle de Mare Sèche et en poursuivant quelques centaines de mètres plus loin, on arrive dans des champs mi cultivés, mi en friches... et pour cause ! Ici et en bordure du talus, dans une frange d'environ 500 m de long sur 100 m de large, des fissures concentriques (fig. 17 a) se sont ouvertes au cours du cyclone, et des tassements avec des rejeux de près de 1 m découpent la surface. Au Nord de l'accident, on peut suivre également, à quelques dizaines de mètres en retrait de la corniche, une ligne de rejeu ancienne ayant certainement évolué encore récemment. Les rejeux et les fissures (très profondes aux dires des propriétaires des terrains) témoignent ainsi du processus d'évolution de la corniche (fig. 17 b) : rupture, tassements de panneaux, l'ultime évolution étant l'éboulement de la falaise comme ce fut le cas pour la route de Cilaos toute proche. Comme pour les glissements-coulée, l'eau est l'élément moteur des tassements : à Mare Sèche l'eau se manifeste, même en saison sèche, à mi-hauteur du talus. Le relevé des sources, dans la falaise allant de l'Echo à la route coupée, indique que l'eau est drainée dans cette direction. En période de pluies, l'afflux dans ces terrains est important, contrairement au talus au Sud de l'îlet de l'Echo, sans eau mais aussi sans glissement.

A Hell Bourg, dans le cirque de Salazie l'évolution de la falaise du kiosque est à peu près semblable. En janvier 1980, de grands panneaux se sont effondrés, parallèlement au rebord de la falaise. L'eau crachait de toute part. Les matériaux écroulés se sont répandus au pied du talus, détruisant les champs de canne. D'énormes quantités d'eau et de boue se sont déversées dans la mare à Poule d'Eau, qui "cassa" au niveau du réservoir. Un flot de boue, de pierres, et de rochers déferla alors sur le versant, détruisant tout sur son passage : route, habitations, végétation, jardins... A la différence de la mare Sèche, au kiosque il ne reste pratiquement plus de paquets tassés, sinon quelques lambeaux qui s'écrouleront aux prochaines pluies. La disparition totale de l'ancienne route d'Hell Bourg, encore indiquée sur la carte topographique à 1/50 000, indique la violence de l'érosion de cette falaise, et de bien d'autres dans Salazie, rongant les bordures des îlets.

L'évocation de talus verticaux et d'écroulements ne doit cependant pas nous conduire à associer naturellement les deux. Dans les descriptions sectorielles, en fonction de la nature des matériaux (brèches volcaniques, brèches de démantèlement, alluvions consolidées...), de leur perméabilité, de la présence

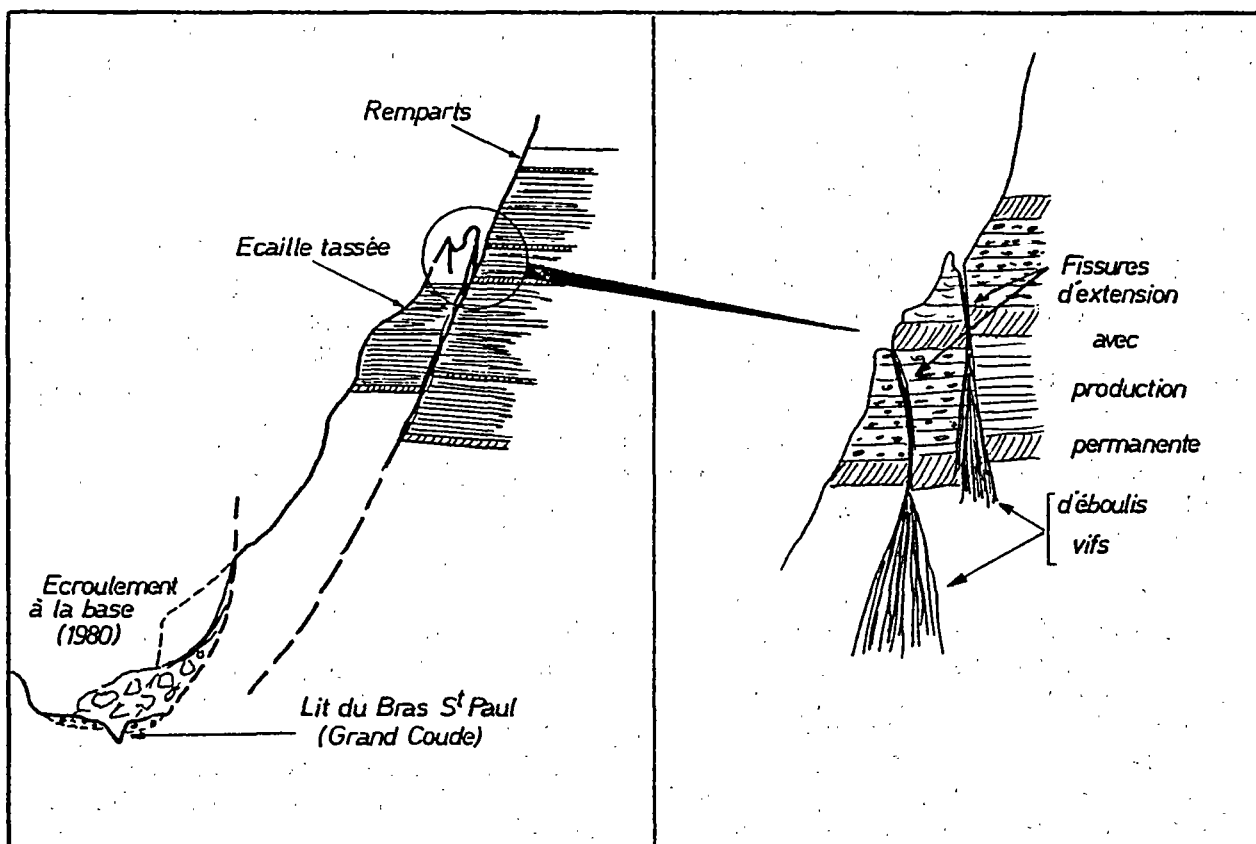
ou absence d'eau... on constatera que de nombreux talus verticaux sont stables, n'étant exposés qu'au ravinement ou à des écroulements de faible volume, témoignant de l'érosion habituelle et courante dans les cirques.

. Ecoulements rocheux

Dans le paysage des cirques, les remparts offrent un élément morphologique bien individualisé à la fois par leur géométrie (forme, pente et hauteur) que par leur nature géologique. En opposition avec les matériaux de remplissage de l'intérieur des cirques, les parois des remparts sont constituées de roche en place, essentiellement des brèches pyroclastiques soudées et indurées, entrecoupées de coulées de laves et de tufs scoriacés. Avec des pentes très fortes, de l'ordre de 70° et des dénivellations de l'ordre d'un millier de mètres, ils ont été, par le passé, le siège d'écroulements importants, comme on le verra dans le prochain chapitre.

Cependant la raison pour laquelle nous traitons ici les "écroulements" à la rubrique des grands événements récents et actuels, est que nous avons découvert un processus actif de ce type dont tous les symptômes indiquent qu'il évolue vers un écoulement mettant en jeu un volume considérable de matériaux. Actuellement, dans les remparts de Cilaos, dans le tiers inférieur de la pente dominant le coude du bras de Saint-Paul situé à l'extrémité méridionale de l'îlet à Cordes, on aperçoit deux grandes saignées blanches en forme de triangle. Elles encadrent un dièdre rocheux qui se détache nettement sur les parois lisses des remparts (fig. 18a), sur une hauteur de plusieurs centaines de mètres. Au sommet du triangle, des pierres, des fragments rocheux, des blocs s'échappent continuellement au contact de la paroi et du dièdre. L'inaccessibilité du lieu ne nous permet pas, autrement qu'à la jumelle, d'observer s'il existe effectivement une fissure de décollement entre les deux. Ce qui est certain, et les paysans de l'îlet à Cordes nous l'ont confirmé, c'est la production continue d'éboulis (fig. 18b) dans ces deux couloirs, depuis des dizaines d'années. Cette manifestation témoigne donc de l'activité mécanique de ce panneau, en voie de désolidarisation et qui travaille en extension ; des faits identiques existent dans les Alpes et attirent toujours l'attention des géologues car ils sont le signal d'une instabilité des massifs rocheux. Cette activité semble avoir redoublé depuis janvier 1980, date à laquelle s'est produit un écoulement à la base du dièdre, lui-même attaqué par les eaux du bras Saint-Paul. Le volume des matériaux éboulés dans le coude de la rivière a créé une embacle temporaire avec un début d'alluvionnement à l'amont. Cet écoulement, à la base de cet énorme dièdre instable s'ajoutant à l'érosion des eaux du bras Saint-Paul, renforce donc le déséquilibre de l'ensemble du panneau puisqu'aucune butée de pied ne vient stabiliser le mouvement.

Aucun danger immédiat ne résulte de cette situation puisqu'aucune installation humaine n'est directement menacée. Bien que l'on observe toutes les conditions favorables à un grand écoulement, la menace qu'elle soit prochaine ou lointaine, ne peut être précisée. Mais, en cas de réalisation, l'édification d'un barrage naturel de grande hauteur au niveau des gorges de Bras Saint-Paul provoquera des inondations à l'amont et un risque de débacle à l'aval en cas de rupture de la retenue.



a
Ecaïlle tassée

b
Vue rapprochée du sommet
de l'écaïlle

Figure 18 - Ecoulement rocheux du bras Saint-Paul

L'écroulement potentiel de bras Saint-Paul est le seul mouvement de ce type actuellement observable sur l'ensemble des remparts. Toutefois, l'apparition brutale d'une érosion active à la limite des dièdres rocheux accrochés à la base des remparts devra attirer l'attention car elle indiquerait un rejeu des panneaux, qui, comme on le verra, correspondent à d'anciens décrochements de la paroi des remparts.

. La catastrophe de Grand Sable (26 novembre 1875)

Cet événement, par ses caractéristiques (extension, ampleur, mécanisme) ne peut être rattaché à aucun des processus décrits jusqu'à présent. Ayant mis en jeu près de 18 millions de m³ de matériaux, les observateurs de l'époque (VELAIN Ch, 1876 - rapport de la commission d'enquête, 1876) faisaient déjà le rapprochement avec les grands éboulements survenus en Suisse ou ailleurs (Göldau, Elm...).

Il se produisit au pied du Gros Morne, qui culmine à près de 3 000 m, au Sud Ouest du cirque de Salazie. Dominant le petit vallon encaissé de Grand Sable, une paroi de plus de 1 km² s'écroula et les matériaux éboulés atteignirent le confluent avec le bras de Fleurs Jaunes, situé 2 km plus bas, à hauteur du piton Grand Sable, avec une dénivelée de près de 900 m. Les 62 personnes qui habitaient ce vallon particulièrement fertile furent ensevelies sous un entassement de blocs, atteignant 40 à 50 m d'épaisseur.

Après une enquête détaillée sur le terrain, les 15 et 16 décembre, c'est-à-dire deux semaines et demie après la catastrophe, les membres de la Commission ont pu retracer dans leur rapport les phases successives de l'évènement. Il est intéressant d'en rappeler les principales étapes (fig.19 a,b,c,d) qui montrent ainsi l'enchaînement des faits et la multiplication des effets qui à l'époque, comme du reste aujourd'hui, auraient été difficilement prévisibles. La catastrophe, aux dires des témoins, n'ayant duré au maximum que 2 ou 3 mn, on imagine facilement la rapidité de réalisation des différentes phases du mouvement qui aurait débuté par un affaissement de la base du Gros Morne, à l'amont du vallon de Grand Sable, à hauteur des sources pétrifiantes, entraînant à sa suite toute la partie supérieure du plateau en gradins. Une dépression s'est ainsi créée à la base du plan incliné, témoin de la surface de rupture et qui correspond à une intrusion de basalte que l'on retrouve du reste aujourd'hui depuis Grand Sable jusqu'au Béliier. Elle collectera passagèrement les eaux, formant ainsi un petit lac.

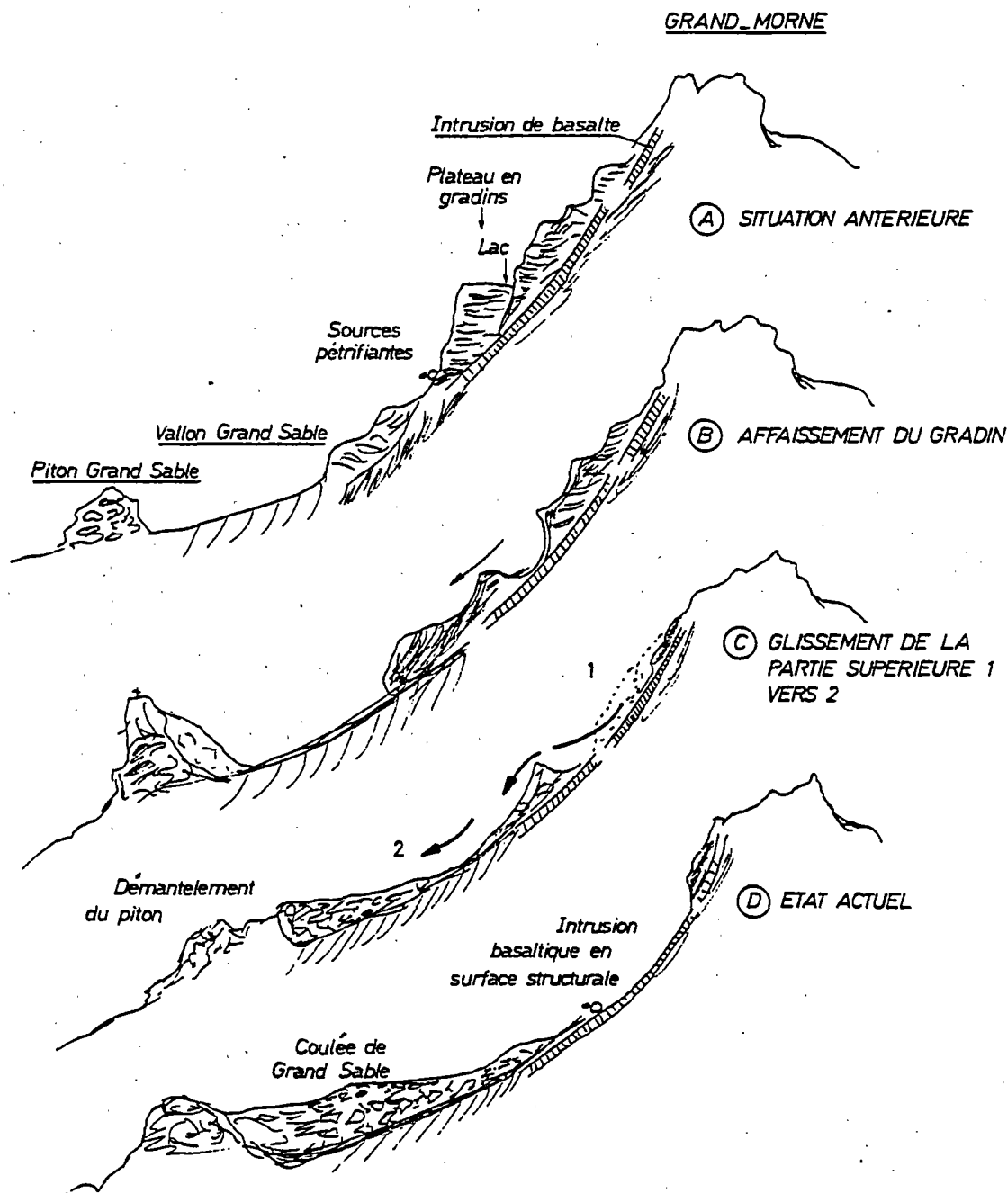


Figure 19 - Ecoulement de Grand Sable

Ce plan incliné de roche dure fut alors un magnifique tremplin lorsque se détacha un nouveau pan du Gros Morne. Une avalanche de blocs et de pierres déferla vers la vallée, poussant devant elle les terrains de couverture à la manière d'un "chasse-neige". Lorsqu'elle atteignit, à l'aval de la vallée, le piton Grand Sable, petit monticule de matériaux provenant déjà d'un éboulement ancien, celui-ci s'écroula, comblant ainsi d'un côté le ravin du bras de Fleurs Jaunes, de l'autre le bras du Grand Sable dont les rives s'étaient également affaissées. On rapporte que sous la violence du choc, des blocs et des pierres furent projetés, en rive gauche jusqu'à Camp de Pierrot. Les observateurs notaient également que les vibrations du sol furent certainement à l'origine du glissement qui affecta le versant boisé du piton du Camp d'Henri.

Telle est donc l'interprétation qu'en donnaient, à l'époque, les membres de la commission. Elle montre bien qu'à cette échelle, les effets de tels mouvements peuvent atteindre une ampleur difficilement prévisible.

. Affaissement - effondrements

N'affectant pas de façon spectaculaire les terres et pouvant se confondre avec le modelé initial dû aux anciens glissements, ces processus n'ont jamais été décrits dans les cirques. Ce sont généralement des mouvements lents de la surface du sol qui se développent principalement à la surface de certains îlets et qui résultent d'un processus d'érosion souterraine appelé "suffosion" par les géologues des pays de l'Est. Cette évolution se traduit par un départ local de matières, d'où la création d'un vide dans le sol à l'origine d'un affaissement superficiel.

A Grand Ilet par exemple, on observe fréquemment des petites cuvettes de quelques dizaines de mètres de circonférence où s'accumulent blocs et cailloux. Généralement circulaires ou elliptiques, les talus de ces cuvettes ont une pente régulière sur tout leur pourtour, à la différence des dépressions dissymétriques et plus ou moins chaotiques des anciennes zones de glissement. Ces cuvettes ou entonnoir prennent naissance par suite de l'affaissement des terrains sous-jacents consécutifs au drainage des eaux souterraines entraînant par lessivage les particules les plus fines des formations détritiques de surface, comme on s'en souvient, très hétérogènes. A Mare à Citrons, un paysan nous a montré un trou, aujourd'hui comblé, de 5 à 6 m de diamètre, résultant d'un effondrement de la surface de son champ, au moment des pluies. A cet endroit, le départ de matière au droit d'un chenal de drainage est tel que le vide qu'il crée est à l'origine d'une rupture soudaine du toit de la cavité. Toujours dans l'axe d'un cheminement d'eau préférentiel qui donne naissance en contrebas à une émergence, un autre effondrement s'est produit dans les mêmes conditions.

Si les effondrements sont à notre connaissance peu fréquents, en revanche, certaines dépressions sous forme d'entonnoir continuent d'évoluer, aux dires des habitants, en s'approfondissant très lentement. Mais comme nous l'indiquons en tête de ce chapitre, il ne faut pas assimiler toutes les dépressions à des processus de soutirage car le modelé des îlets est celui de très anciens glissements avec ses "creux et bosses". D'autre part, il faut savoir que certains entonnoirs peuvent ne plus évoluer par suite d'une modification du cheminement des eaux souterraines après des réajustements des matériaux par glissements, tassements... La réciproque est également envisageable et une dépression figée depuis de longues années est capable de redevenir active.

La variété des formes de l'érosion liée aux mouvements de terrains récents et actuels est grande ; elles se diversifient par leur origine, leur ampleur, leur fréquence, leur vitesse d'évolution. Leur énumération montrent que ces formes tiennent à la fois du glissement, de la coulée, de la lave, de l'écroulement... et qu'elles s'associent le plus souvent pour donner un type de mouvement s'inscrivant dans un contexte géologique et morphologique bien particulier, notamment dans un paysage modelé par des anciens mouvements de très grande ampleur et extension.

3.2 - MOUVEMENTS ANCIENS DE GRANDE AMPLEUR

Ils jouent un rôle primordial dans l'évolution actuelle des versants non pas à cause de leur dynamisme - à l'échelle humaine, ils sont considérés comme stable - mais parce que certains de ceux-ci offrent un terrain privilégié dans l'apparition des événements récents décrits au chapitre précédent. Les matériaux témoins de grands écoulements ou de vastes glissements de couverture sont remaniés. Leur structure, leur cohésion a diminué et ils sont plus sensibles à l'attaque de l'érosion, qu'elle soit superficielle ou profonde. Par ailleurs, le modelé de ces grands mouvements, par la présence de dépressions, de contre pentes favorise le "piégeage" de l'eau et donc augmente la sensibilité des terrains. Chaque cirque offre quelques mouvements anciens de grande envergure et il a paru plus facile et plus opportun d'en faire état dans les chapitres III et IV consacrés aux études sectorielles des cirques de Salazie et Cilaos.

En résumé, l'érosion liée aux mouvements de masse, à travers les arrachements, les glissements, les coulées, les tassements, les écroulements... se superpose en période de "crise climatique" à l'érosion des eaux superficielles. Comme on a pu le constater en janvier 1980, ces deux types d'érosion résultent de processus difficilement maîtrisables, créant ainsi des conditions désastreuses dans les cirques. Par leur ampleur et la soudaineté de leur apparition, les mouvements de masse créent un réel danger, peut-être prévisible dans l'espace mais certainement imprévisible dans le temps, comme l'est l'apparition de pluies exceptionnelles.

Bien que chaque forme d'érosion ait sa propre originalité, elles ne sont pas toujours isolées les unes des autres. Très souvent, elles se combinent entre elles et se regroupent en unités d'érosion à l'intérieur de grands ensembles morphologiques caractérisés par un enchaînement particulier des processus de mouvements.

4 - GRANDES UNITES MORPHOLOGIQUES D'EROSION (remparts, îlets, massifs, vallées)

Toutes les formes majeures de l'érosion actuelle se regroupent pour constituer quelques grandes unités qui donnent leurs traits originaux aux paysages des cirques. Elles sont à Salazie comme à Cilaos, au nombre de quatre, et chacune possède ses caractères propres.

. La première est constituée par les remparts et leurs bordures immédiates qui comprennent un certain nombre de petits îlets (Bras Saint-Paul...) Formés par un empilement de coulées de basaltes et de brèches, ils limitent les cirques par des parois de 500 à 800 m de haut, avec une pente moyenne de 70°. Le rebord supérieur des remparts est à peu près rectiligne et s'abaisse insensiblement du centre vers l'extérieur (2 896 m au Grand Bénard et 1 500 m au-dessus du Pavillon de Cilaos - 2 277 m à la Roche Ecrite et 1 300 m au-dessus de Salazie). A la base, les remparts sont parfois limités nettement par les cours d'eau (bras de Fleurs Jaunes, les Trois Bras...) mais le plus souvent sont bordés par des talus d'éboulis anciens ou par d'anciens paquets glissés, repris et nivelés par l'érosion. Comme on l'a vu précédemment, les éboulements actuels sont très rares mais certaines conditions favorables à de tels accidents peuvent exister localement. L'évolution morphologique de ces parois associée à celle de leur bordure immédiate (petits îlets) est donc caractéristique d'une grande unité que nous décrirons dans le détail.

. La deuxième unité, séparée de la première par les cours d'eau qui ceignent les cirques, est celle des grands îlets car elle constitue une entité morphologique particulière fortement marquée par l'érosion à la fois par le ravinement des eaux superficielles et par les mouvements de masse. Ce sont une succession de plateaux plus ou moins étendus, séparés de leurs voisins par de profondes ravines, dominées par des parois raides. Comme leur nom l'indique, les îlets sont isolés par des ravines, étant rattachés entre eux soit par un versant, soit par un simple pédoncule. Certains peuvent être totalement isolés. Les plus vastes et les plus plats (plateau des Etangs, îlets à Cordes, bras Sec, Palmiste Rouge à Cilaos ; Grand Ilet, Mare à Vieille Place, Mare à Citrons, Hell Bourg... à Salazie) sont les plus peuplés et les mieux mis en valeur. D'autres, plus petits avec une pente plus forte sont abandonnés et sont rongés de toutes parts par une érosion type "bad-lands" sur leurs versants, ou par des tassements-éboulements. Cette unité constituée par un certain nombre de zones d'érosion regroupe certainement les secteurs où les processus de ravinement et de glissements de terrain sont les plus actifs.

. A part, à travers la surface des îlets, apparaît parfois des massifs ou des chaînons bien individualisés aux arêtes dures, raides et dentelées. C'est le piton d'Enchaing et le piton Maillot dans le cirque de Salazie, la chaîne des Calumets et l'arête de Peter Both à Cilaos. Tranchant par leur relief dans le paysage largement ouvert des îlets et évoluant distinctement, ils forment une troisième unité qui par son caractère rocheux est davantage exposée aux écroulements.

. Enfin, la dernière unité regroupe essentiellement les processus d'érosion liés aux vallées principales à savoir les rivières du Mât et de Fleurs Jaunes à Salazie, le bras de Saint Paul, le bras Rouge, le bras de Benjoin, le petit bras à Cilaos. Bien qu'artificielle, c'est à dessein que cette distinction est faite car il s'agit de traiter dans ce cas les inondations, l'érosion linéaire, l'alluvionnement de ces cours d'eau à régime torrentiel, c'est-à-dire d'examiner leur profil longitudinal avec pentes, seuils, cascades autant que leur profil transverse.

Afin de maîtriser l'évolution de ces unités, nous allons dans chaque cirque procéder à l'examen détaillé des différentes zones composants ceux-ci. Pour chacune d'entre-elles, après les avoir situées et délimitées géographiquement, les descriptions morphologiques et géologiques, alliées aux caractéristiques de l'érosion, constitueront le corps principal de l'étude qui se terminera par des considérations touchant l'aménagement de ces terrains. Pour Salazie, comme pour Cilaos, ce chapitre sera illustré par la carte de zonage à 1/25 000 et constituera un commentaire détaillé de la légende (Pl. I et II hors texte).

5 - CARTE DES FORMES DE L'EROSION RECENTE ET CARACTERISTIQUES DES ZONES DE RISQUE

Les premières reconnaissances géologiques dans les cirques et les premiers travaux de terrain ont montré rapidement que l'on ne pouvait pas appliquer à la Réunion des méthodes de cartographie qui avaient fait une certaine unanimité en d'autres lieux et en d'autres temps. Liés au volcanisme récent, au caractère accentué d'un climat tropical aux précipitations abondantes et rapides, les cirques, par leur contexte géologique et géodynamique, exigent qu'à leur sujet soit repensée la notion de risque admise habituellement.

L'agressivité de l'érosion, caractérisée non seulement par son ampleur mais aussi et surtout par sa rapidité, fait dire aux paysans des cirques, après chaque grosse pluie ou après chaque cyclone dévastateur que "leurs terres fondent à vue d'oeil". La revue des différents types d'érosion, l'étude sectorielle de chacune d'entre elles après le cyclone Hyacinthe de 1980, indiquent que chaque parcelle de terre dans les cirques sera, à plus ou moins brève échéance, la proie de l'érosion, qu'elle soit de type cataclysmal ou non.

Il faut donc, à l'occasion des "crises climatiques", type 1948, 1952, 1980, enregistrer et étudier rapidement tous les événements qui ont affecté gravement le paysage, afin d'en tirer des enseignements pour l'avenir, avant que ces témoignages ne disparaissent. Les prochains chapitres offrent donc un récapitulatif, secteurs par secteurs, des nombreuses observations relevées à la fois au cours des campagnes de terrain (1), mais aussi après l'étude comparée des photographies aériennes de 1948 et 1966, de la bibliographie, des archives historiques...

Par analogie avec les formes d'érosion (ravinements, glissements, tassements...) analysées et répertoriées, il est possible d'émettre pour chaque zone :

- d'une part les tendances qui présideront à l'évolution des reliefs lors des prochaines crises climatiques, donc aux différentes menaces liées à l'érosion sous toutes ses formes ;

- d'autre part les recommandations et les mesures prioritaires à prendre pour se prémunir ou tout au moins pour minimiser les dangers liés à cette érosion inexorable.

(1) Au cours du cyclone "Hyacinthe" (1980) et immédiatement après, les géologues du Service géologique régional de la Réunion (B.R.G.M.) purent observer les innombrables mouvements de terrain ayant affecté les reliefs des cirques et proposer ainsi les mesures d'urgence qu'imposait une telle situation.

A travers le découpage proposé et ses limites géographiques, la carte à 1/25 000 illustre d'abord ces tendances, mais non pas sous forme d'expression graphique (comme par exemple l'utilisation des couleurs dans la cartographie ZERMOS) mais à la faveur d'un tableau récapitulatif détaillé résumant les principaux types de risque et les recommandations correspondantes à chaque unité. Ce choix est guidé par la spécificité du sujet. Il nous conduit à abandonner toute idée de hiérarchie du risque dans les cirques et permet au contraire, à travers un texte mesuré, de mieux saisir le poids ou l'incertitude des menaces qui caractérisent chaque secteur (Pl. I - II).

La carte proprement dite indique par une série de figurés (1) en noir (ligne d'arrachement, ravinement concentré, fissures avec rejeu...) toutes les formes d'érosion active ou qui se sont produites lors du cyclone de janvier 1980. Là, l'expression graphique reprend toute sa valeur, traduisant visuellement des faits observés et illustrant ainsi la grande densité des événements survenus à l'occasion de cette crise. Cette carte témoigne donc, mieux que tout discours, l'extrême vulnérabilité des reliefs dans les cirques. Avec le tableau récapitulatif et le rapport, elle fournit le cadre indispensable aux études à plus grande échelle (1/5 000, 1/1 000) tant pour l'élaboration des P.O.S., l'implantation d'aménagement nouveau, la sauvegarde d'équipements anciens...

(1) Le fond topographique de l'IGN, inachevé et incomplet, ne nous a pas toujours permis de reporter aussi exactement que nous l'aurions souhaité les informations recueillies sur le terrain. L'original de nos levés, tracés sur les photographies aériennes agrandies à 1/18 000 sont déposées aux archives du Service Géologique régional de la Réunion à Saint-Denis.

CHAPITRE III
LE CIRQUE DE SALAZIE



Le plateau de Mare-à-Martin avec la mare en cours de débordement
(février 1980)

Chaque grande unité ou ensemble morphologique d'érosion, brièvement présentée à la fin du chapitre précédent, se subdivise en un certain nombre de zones offrant chacune des caractères morphologiques et des formes d'érosion particulières. Nous allons les passer en revue car dans l'une et l'autre de ces zones se posent des problèmes spécifiques qui ont des répercussions sur l'aménagement de ces terrains.

1 - LES REMPARTS ET LEURS BORDURES (ensemble A)

Les remparts sont indissociablement liés à leurs piémonts au sens morphologique du terme. Les imposantes parois qui ceignent les cirques offrent au regard un horizon fermé de toute part sauf peut-être au Sud, où le massif du piton des Neiges rompt la rectitude des remparts avec son sommet culminant à 3070 m. A leur base, et sur toutes leurs bordures, les talus d'éboulis, les petits îlets isolés les uns des autres par de profondes ravines, les lambeaux écroulés dessinant des triangles inclinés, constituent autant de petites entités ayant leur propre évolution à l'intérieur du zonage proposé. Chaque zone est néanmoins relativement homogène.

1.1 - LA BORDURE MERIDIONALE : GRAND PLATEAU, ROND DE LA RIVIERE DU MAT, TERRE PLATE (zone A1)

Cette zone, située principalement au Nord du piton des Neiges, comprend en gros quatre bassins-versants d'extension inégale. Le plus petit, à l'Ouest, est celui de la ravine José Lebeau et de la ravine Farla, qui se poursuit à l'Est par le bassin-versant, beaucoup plus grand, de la ravine Bachelier et de ses différents affluents. Elle draine Grand Plateau, à quelque 800 m en dessous de l'arête des Salazes qui relie le gros Morne (2991 m) au piton des Neiges (3070 m). On trouve ensuite, en allant vers l'Est, le bassin-versant de la rivière du Mât jusqu'à son confluent avec la ravine Bachelier. Enfin à l'Est le plateau de Terre Plate, drainé principalement par la partie amont de bras Sec, mais aussi par bras Fontaine et bras Marron, dans leurs cours supérieurs.

L'amont de tous ces bassins-versants, aux flancs du piton des Neiges, est constitué par une série de plateaux étagés en gradins inclinés vers la rivière du Mât. Déchiquetés par de profondes ravines parallèles entre elles ou se ramifiant et se concentrant en un élément plus important, ces plateaux en forme d'escaliers ont parfois un aspect ruiniforme. L'érosion isole aussi dangereusement des panneaux-replats dont les talus tombent verticalement sur les versants fortement pentus qui se développent à l'aval, jusqu'aux ravines principales. Ces formations bréchiques, lardées d'intrusions basaltiques, s'écroulent par paquets et comblent le fond des ravins. On rencontre cette forme d'érosion, associée au ravinement durant les fortes pluies, à Grand Plateau et dans une moindre mesure à Terre Plate. En revanche, c'est essentiellement le ravinement concentré, en rigoles ou de type bad-lands qui s'installe en contrebas de gradins supérieurs sur les versants des ravines Bachelier et rivière du Mât, considérées comme des ravines actives. Les versants rive gauche du Mât sont particulièrement exposés et quelques grands arrachements se sont produits au dernier cyclone. Quant aux autres bassins-versants, à l'Ouest comme à l'Est, ils sont relativement figés, les ravines ne jouant plus qu'un rôle de collecteur des eaux en période de pluies, sans érosion longitudinale ni latérale.

Domaine de la forêt et de la haute montagne, n'abritant plus aucune habitation, cet ensemble est exposé localement à des risques d'écroulements, en bordure des gradins déchiquetés par le ravinement (Grand Plateau - Terre Plate) qui, en contrebas, prend une certaine ampleur sur les versants des ravines Bachelier et rivière du Mât.

1.2 - LA BORDURE OCCIDENTALE : GRAND SABLE, LE BELIER, CASABOIS (zone A2)

En poursuivant à l'Ouest de l'ensemble précédent et allant vers le Nord, le cirque de Salazie s'adosse directement au cirque de Mafate. Ils sont séparés l'un de l'autre par le gros Morne et la crête qui descend jusqu'à la base de la roche Ecrite (2275 m) en passant par les arêtes du morne de Fouche (2258 m) et le pic du Cimendef (2226 m). De ces sommets, descendent de nombreuses ravines qui drainent un grand bassin versant, celui de la ravine Grand Sable et des ravines qui descendent du col de Fourche, et deux plus petits, les versants de la ravine Camp Pierrot et ceux de la ravine Casaboïs sur les flancs du Cimendef.

L'événement le plus marquant de cet ensemble a eu lieu, il y a un peu plus de un siècle lorsque, le 25 novembre 1875, un pan entier du plateau de Grand Sable s'écroula dans la vallée, faisant 62 victimes ensevelies sous 18 millions m³ de matériaux. La relation détaillée de cet accident a été faite précédemment (chap. II) et il faut s'attarder sur certains éléments structuraux qui assurent à cet ensemble une certaine homogénéité. En effet, les observations faites sur les versants, à la faveur des nombreuses ravines (Grand Sable, ravine Blanche, ravine des Merles, ravine Camp de Pierrot, ravine Saule Pleureur) mettent en évidence l'existence d'une intrusion basaltique conforme à la pente, sur presque tout le pourtour. Elle affleure parfois en surface structurale, au niveau du glissement de Grand Sable ou bien vers la route forestière du Bélér, au-dessus de la ravine Saule Pleureur. A cet endroit, les brèches plus ou moins consolidées qui recouvraient l'intrusion ont disparu ; tout au plus est-elle recouverte par un mince dépôt d'éboulis de pente. En revanche, ces brèches sont parfois très épaisses au-dessus de l'intrusion, comme c'est le cas dans la ravine des Merles ou en bordure immédiate du grand arrachement de Grand Sable. Il est même vraisemblable d'imaginer que le gradin correspondant se poursuivait jadis plus à l'Est.

Des fortes pentes associées à une structure de discontinuité lithologique en aval-pendage créent donc des conditions identiques à celles qui ont été à l'origine de la catastrophe de Grand Sable. Certains versants, déjà purgés en grand, comme en témoigne par exemple le grand paquet glissé situé à l'amont, entre la ravine Camp de Pierrot et la ravine Azaye, présentent des dangers moindres que ceux qui ne le sont pas. On peut en effet admettre qu'une purge locale s'est effectuée à Grand Sable mais que de part et d'autre le danger subsiste (piton Cassé, ravine Blanche...). Pour mieux apprécier la menace de grand écroulement qui pèse sur ce secteur, il serait nécessaire de faire un relevé précis, à grande échelle (1/10 000 par exemple), des facteurs qui conditionnent la stabilité du versant, à la lumière des enseignements de l'éboulement de Grand Sable. La connaissance de la pente, de la nature des matériaux, de la structure des intrusions basaltiques, du régime des eaux souterraines, des mouvements anciens... est en effet indispensable pour évaluer les risques d'éboulement dans toute cette zone, depuis Grand Sable au Sud jusqu'au Bélér au Nord, les versants de Cimendef au-dessus de la plaine de Casaboïs ne présentant pas la même structure.

1.3 - LA BORDURE SEPTENTRIONALE DE LA ROCHE ECRITE AU CAP PICARD (zone A3)

C'est ici que commence la description proprement dite des remparts, élément déterminant dans le paysage des cirques. Ils offrent aux visiteurs pénétrant à Salazie un horizon fermé par des parois d'une raideur exceptionnelle : 70° en moyenne et d'une hauteur de 600 à 800 m. Le rebord des remparts est à peu près rectiligne et s'abaisse de façon progressive de l'Ouest vers l'Est, à l'entrée du cirque la roche Ecrite (2275 m), pîton Plaine des Fougères (1802 m), pîton Bé Massoune (1618 m), grande Plate (1451 m), cap Picard (1165 m). Limitant extérieurement le planèze de la plaine des Fougères, le rebord supérieur est cependant entamé, à l'Est de la roche Ecrite par la niche d'érosion régressive de la rivière des Pluies. A leur base, les remparts soit se raccordent aux îlets de Mare à Martin, de Grand Ilet et de Bé Cabot par l'intermédiaire de petites ravines (Casabois...), soit tombent directement sur la rivière des Fleurs Jaunes.

Couverts de taillis dans le bas, de branches dans le haut, les remparts sont inaccessibles. Un dur sentier mène cependant à la Roche Ecrite. Ils sont constitués par un empilement de coulées de laves, compacts, alternant avec des bancs de brèches et de scories à l'exception des versants au-dessus de l'îlet Roche à Jacquot et en amont de la ravine Blanche qui présentent une particularité : une coulée basaltique très récente issue de la Roche Ecrite nappe le front des remparts et descend jusqu'en bas de la route de Mare à Martin. Ici, à l'aval, la roche basaltique est affleurante en surface structurale, tandis qu'à l'amont de la route elle est masquée par des brèches et des éboulis. Cette surface, parfois extrêmement lisse, laisse penser qu'il s'agit là d'une paroi de rupture. En effet, les observations faites dans ce secteur et l'examen des photographies aériennes indiquent qu'une partie des brèches et des éboulis aurait glissé anciennement au niveau de la coulée de basalte. C'est ce qui se serait produit dans la ravine Blanche, à l'amont de la route, zone constituant actuellement un réservoir d'eau important mais inquiétant et sur le versant situé au-dessus de l'îlet de la Roche à Jacquot. Ainsi, il y a une cinquantaine d'années, un glissement-coulée a emporté une case, et ses occupants ne durent leur salut qu'aux infrastructures de la roche en dalle sous lesquelles ils s'étaient réfugiés.

En poursuivant vers l'Est, les remparts présentent à nouveau leur aspect habituel et sont tapissés à leur base, en bordure de la plaine de Mare à Martin, d'éboulis et de petits paquets glissés. Il en est de même, au niveau de l'amphithéâtre de Bé Cabot, drainé par la ravine du même nom et de la ravine Sèche avec, à son extrémité orientale, l'angle du pîton Bé Massoune (1618 m) qui constitue un "nez coupé". Ici, cet hémicycle serait le témoin d'affaissements et d'effondrements circulaires en bordure de l'ancienne caldera. Enfin, le dernier secteur jusqu'au cap Picard offre les parois de ses remparts, avec localement quelques décollements anciens et à sa base limité par bras des Fleurs Jaunes, ses petits îlets aujourd'hui abandonnés. En de rares endroits, entre la base des remparts et les replats des îlets, on peut observer des talus très raides, sectionnant à la verticale les brèches et les coulées. Ce sont les témoins d'anciennes rives concaves de la rivière des Fleurs Jaunes, lorsqu'elle coulait à un niveau supérieur.

En résumé, avec leurs parois quasi verticales et très élevées, les remparts du Nord de Salazie ne présentent pas actuellement de risques d'écrou-

lements et aucun événement récent n'est à signaler. Toutefois, la structure particulière des versants dominant l'îlet Roche à Jacquot et de ravine Blanche est telle que les possibilités de glissements des éboulis ou des brèches sur la coulée basaltique d'aval-pendage ne sont pas à rejeter.

1.4 - LA BORDURE ORIENTALE, DE SALAZIE A HELL BOURG (zone A4)

Là aussi, c'est une véritable barrière qui enserre à l'Est la dépression de Salazie, avec des remparts caractérisés toujours par leur grande hauteur (400 à 600 m), leur forte pente (60 à 70°), leur rebord rectiligne s'abaissant régulièrement du Sud (1700 m au-dessus d'Hell Bourg, 1500 m au-dessus de Mare à Poule d'Eau) vers le Nord Est (1300 m au-dessus de Salazie, 1000 m au plateau Wickers). A leur base coule la rivière du Mât et son affluent le bras des Demoiselles qui prend naissance sur les versants de Grand Fond, dominant en gradins Hell Bourg.

Sur toute la longueur des remparts, on ne distingue aucun éboulement récent, mais des petits talus d'éboulis anciens tapissent la base des parois. Pourtant, la présence, au flanc des remparts d'Hell Bourg et de Salazie, d'une coulée basaltique plus récente ayant tendance à fournir localement des blocs à débris prismatiques peut être localement à l'origine de la chute de quelques rochers. Cette coulée du reste rompt la monotonie habituelle des remparts, créant une saillie longitudinale avec d'étroits replats dans la partie inférieure des remparts. Au-dessus et soulignées par la végétation, apparaissent très nettement les rayures horizontales des empilements de coulées et de brèches, coupées verticalement par les nombreux filets d'eau qui prennent toute leur ampleur aux "cascades du Voile de la Mariée". Rectilignes sur l'ensemble de la zone, les remparts s'incurvent cependant en un amphithéâtre au-dessus d'Hell Bourg, à Grand Fond : cet hémicycle témoigne d'une zone anciennement effondrée, comme on le verra en étudiant le plateau d'Hell Bourg.

A part quelques chutes de rochers ou de blocs à la base de coulées basaltiques, aucun danger particulier ne menace ces parois ni les abords immédiats à la base de ceux-ci.

2 - LES GRANDS ILETS (ensemble B)

Cet ensemble regroupe tous les plateaux plus ou moins grands et plus ou moins pentés, qui forment le fond du cirque de Salazie. Isolés les uns des autres par des torrents et des ravines parfois très profondes, ils constituent des entités morphologiques originales qui correspondent non seulement à un type d'évolution du relief mais aussi à un genre de vie et à une économie particulière fortement marquée par le milieu montagnard. Le découpage proposé s'impose de lui-même car il permet effectivement de passer en revue une succession d'entités évoluant toute dans le même sens, rongée et minée à la fois par les eaux superficielles et les mouvements de masse. Cette érosion est d'autant plus active qu'elle rencontre des matériaux essentiellement détritiques, friables et perméables, produits de remaniement, de creusement, d'écroulements, de glissements, de coulées boueuses... Remplissant le fond des cirques, ces brèches ont une épaisseur actuelle de l'ordre de 100 à 150 m et apparaissent sur les versants des îlets, au-dessus des coulées de laves basaltiques anciennes observa-

bles principalement dans les gorges des rivières du Mât et des Fleurs Jaunes. L'extrême hétérogénéité de ces brèches de remaniement, tant par leur nature que par leur situation à l'extérieur d'une zone, ne nous permet pas de faire à chaque fois un inventaire détaillé de ces matériaux mais une cartographie géologique détaillée devrait en tenir compte.

2.1 - ILET ROCHE A JACQUOT, MARE A MARTIN ET BE CABOT (zone B1)

La rivière des Fleurs Jaunes et son affluent la ravine Roche à Jacquot limitent au Sud cette zone qui s'appuie au Nord sur la bordure des remparts décrite précédemment. Une route relie le bourg de Mare à Martin à Grand Ilet, tandis que les quelques familles de Bé Cabot ne sont rattachées au bourg que par un sentier. A l'étage inférieur, une piste toute récente dessert l'îlet de la Roche à Jacquot et les cases qui s'égrènent tout au long du chemin jusqu'à la ravine Mathurin, extrémité de la piste où le sentier rejoint comme par le passé Mare à Martin.

Morphologiquement, cette zone offre une succession de replats plus ou moins étendus, et en escaliers. Le plus élevé accueille une mare d'environ 4 ha drainé durant les hautes eaux par un petit exutoire qui traverse la route et rejoint la ravine Bon Dieu, affluent de la ravine Bé Cabot. En descendant, les différents replats ou gradins séparés entre eux par des talus ravinés sont relativement propices aux cultures et à l'habitat (Mare à Martin - Bé Cabot) bien que la surface soit jonchée de blocs, de pierres et de pierrailles. Deux gorges très profondes (Bé Cabot et ravine Sèche) sont creusées dans des brèches à gros blocs, en talus quasi verticaux. Ces blocs, en se déchaussant, tombent et pavent le lit de ces ravines qui sont en définitive peu actives, ceci du fait que, à l'aval, une coulée basaltique très épaisse constitue un seuil d'érosion empêchant ainsi tout creusement à l'amont.

Cette (ou ces) coulée(s) est en effet un élément déterminant dans l'évolution de cet îlet car on la retrouve sur tout son pourtour méridional tout au long de la ravine à Jacquot et de la rivière des Fleurs Jaunes. A ces endroits, le profil transversal du cours d'eau offre une nette dissymétrie des versants : évasés et avec une pente voisine de 45° dans les brèches peu cohérentes du sommet de la coulée, quasi verticaux et profonds dans les basaltes anciens du fond du cirque. Il n'existe donc aucun ravinement actif au revers méridional du village de Mare à Martin comme au niveau de la ravine Mathurin qui coule également sur les basaltes.

En revanche, à l'amont de la ravine Blanche, et principalement en rive gauche (îlet Roche à Jacquot), les versants sont affectés de mouvements actifs sous forme de ravinements, de glissements superficiels mais aussi de tassements profonds. Toute cette zone correspond en effet à deux anciens glissements, l'un dans la partie amont de ravine Blanche, l'autre un peu plus à l'Est, en-dessous de la route de Mare à Martin : c'est donc un secteur très sensible, comme on peut le constater par les dégâts occasionnés à la route de Mare à Martin et au chemin de ravine de Mathurin.

2.2 - GRAND ILET (zone B2)

Dénommé ainsi parce qu'étant l'îlet le mieux individualisé du cirque de Salazie, il constitue une entité morphologique nettement encerclée par la ravine Bélrier, la rivière des Fleurs Jaunes, la ravine Roche à Jacquot, la ravine Casaboïs. A l'Ouest, la surface de cet îlet se raccorde à la base des versants du Cimendef (2226 m) tandis qu'à l'Est, elle tombe sur le confluent des ravines Fleurs Jaunes et Roche à Jacquot par une série de versants minés par l'érosion tant superficielle que souterraine.

La zone de Grand Ilet est un vaste massif grossièrement convexe, de pente générale orientée vers le Nord Est. Les dénivelées sont de l'ordre de 450 m, le village de Grand Ilet étant à 1100 m et le radier de Terre Plate à la rivière des Fleurs Jaunes à 650 m. Celui-ci a du reste été emporté par les crues de janvier 1980, isolant ainsi non seulement Grand Ilet mais aussi le Bélrier, Mare à Martin, une route unique desservant tous ces villages. La viabilité de la route de Grand Ilet étant, comme on le constatera, des plus précaires, l'impression d'isolement est encore davantage ressenti ici que dans les autres îlets. L'habitat permanent se situe en majorité au centre de ce massif, c'est-à-dire sur la partie la plus haute, en arrière de la bordure circulaire d'érosion régressive des versants, érosion qui a pris en janvier 1980 des proportions catastrophiques. Il occupe une surface qualifiée de "plateau" si on la considère dans son ensemble. En vérité, en la regardant de plus près, la topographie est très irrégulière et offre une succession de creux et de bosses, en gradins et en bourrelets, sans aucune symétrie. Des dépressions de forme circulaire ou elliptique, de 10 à 20 m de diamètre, sont fréquentes. Durant les pluies fortes et prolongées, en période cyclonique, elles peuvent recueillir les eaux de ruissellement, inondant les terres. Ainsi en janvier 1981, la plupart de ces dépressions furent remplies d'eau sur 5 à 8 m de haut ; le cimetière de Grand Ilet par exemple fut inutilisable pendant plusieurs jours.

Cette saturation de l'eau en surface comme en profondeur est à l'origine de trois grands glissements-coulées qui se sont produits respectivement au Nord Est du village sur le versant de la ravine Roche à Jacquot, au Sud Est au-dessus de Terre Plate et au Sud à côté du piton Papangue. Ils ont fait reculer dangereusement -le premier surtout- la limite d'érosion jusqu'aux portes de Grand Ilet. De nombreuses fissures et rejeux, également observés à cette époque, indiquent en outre que des mouvements se sont amorcés dans toute cette zone, en bordure du plateau et sur les versants, d'autant qu'une intrusion basaltique en aval-pendage favorise les glissements, créant une discontinuité lithologique et drainant l'eau à sa surface.

A côté de ces grands glissements-coulées, les versants de Grand Ilet subissent un ravinement intense en tête des niches d'érosion, qui évoluent en "bad-lands", la phase ultime étant la disparition de tout relief à l'intérieur de ces niches. A ce stade, si le seuil d'érosion en aval est fixe -à la faveur d'un sill par exemple- et si à l'amont la niche a pris son profil d'équilibre, l'évolution est alors figée sauf événement exceptionnel. La capacité d'évacuation de l'exutoire de ces niches est dans ce cas liée à l'existence ou à l'absence de seuil : peu encaissé et de faible débit dans le premier cas, profond et évasé dans le second. Cette notion d'exutoire commande le degré de risques car la coulée ou la lave produite à l'amont sera ou non canalisée. Aussi la coulée de Terre Plate par son volume important et le faible exutoire de sa ravine a débordé largement à l'aval causant ainsi des victimes et des dégâts aux terres environnantes.

En définitive, le massif de Grand Ilet en période climatique normale évolue peu : affaissement lent (1) des dépressions, érosion linéaire dans le fond des ravines avec quelques éboulements en tête de niche, accumulation de petits cônes de déjection éliminés le plus souvent par l'eau. C'est le lot habituel de l'érosion sans grand danger pour la sécurité de la population. En revanche, en période de pluies exceptionnelles, de lourdes menaces pèsent sur les versants et le pourtour de l'Ilet à des degrés divers : inondation des dépressions, mise en charge de l'eau derrière les talus d'érosion, débouillage sous forme de glissement se transformant rapidement en coulée et en lave torrentielle à cause de la grande quantité d'eau contenue dans les terrains, arrachements et ravinements concentrés... Le caractère très dangereux de tous ces mouvements est donc lié à la soudaineté de leur apparition, et aux effets régressifs particulièrement importants, pouvant pénétrer assez profondément à l'intérieur de l'îlet.

2.3 - MARE A VIEILLE PLACE, MARE A CITRONS, MARE A GOYAVES (zone B3)

Cette zone est délimitée très exactement au Sud et à l'Est par la rivière du Mât, au Nord par son affluent la rivière des Fleurs Jaunes et à l'Ouest par le piton d'Enchaing. Constitué par une série de gradins descendant vers le confluent de ces deux rivières, le pays est relativement peuplé car il offre les terres les plus riches du cirque de Salazie. La ravine Grosse Roche draine dans sa partie amont tout le bassin versant de Mare à Vieille Place et à l'aval sépare nettement par une vallée encaissée, le secteur de Mare à Goyaves au Nord de celui de Mare à Citrons au Sud.

Comme il est de coutume dans les cirques, les rivières se sont encaissées très profondément, avec des parois subverticales dans le soubassement ancien de laves basaltiques et de brèches, avec au-dessus des pentes très fortes, ravinées en bad-lands, inscrites dans les matériaux détritiques de remblaiement et de démantèlement de l'ancien volcan. Ces vallées très profondes isolent ainsi une série de replats ou îlets de plus ou moins grande extension, domaine de l'habitat et des champs de canne ou de légumes. L'encaissement peut atteindre 300 à 350 m au Nord (le Grand Bord, le Butor...), tandis qu'il est moindre : 200 à 250 m au Sud (pont de la Savane, Salazie...). L'érosion est telle que certains îlets ne sont plus reliés les uns aux autres que par un mince pédoncule ; c'est le cas par exemple du Butor, situé en contrebas, à l'Est de Mare à Vieille Place. A peine quelques dizaines de mètres de largeur entre le rebord de la falaise dominant la rivière des Fleurs Jaunes et celle au-dessus de la ravine Grosse Roche.

La caractéristique de cette zone est fortement marquée par une topographie liée à l'existence d'anciennes "mares" comme le rappelle le nom des villages de ce secteur. Seule subsiste aujourd'hui la mare à Goyave qui, en saison sèche, est pratiquement vide. Du Sud Ouest au Nord Est, gradins et replats se succèdent, certains ayant abrité des petites dépressions qui sont encore présentes dans la mémoire des paysans. S'ajoutant à cette morphologie de dépressions et de contre-pentes, bourrelets, rides soulignées par des amas chaotiques de roches (route de Mare à Citrons à Mare à Vieille Place), sont tout à fait

(1) On nous a signalé que l'église de Grand Ilet avait dû être déplacée jadis car une sorte de "fontis" se serait ouvert sous son emprise.

caractéristiques d'une forme ancienne de glissement généralisé de versant. Les photographies aériennes et les observations de terrain confirment l'existence d'un très ancien mouvement de fond orienté SW-NE. Les décrochements et anciennes niches d'arrachement sont encore observables partiellement vers le piton Maillot (fig. 20), le corps et le pied du mouvement se situant en gros de part et d'autre de l'actuel tracé de ravine Grosse Roche. Mais aujourd'hui, la dissection des ravines en a fait disparaître la plus grande partie.

Dans cet ancien mouvement de versant, orienté dans l'axe de la capture de la rivière du Mât et antérieur à l'encaissement des ravines, vont s'inscrire des glissements plus récents contemporains du creusement des vallées actuelles et perpendiculaires à celles-ci. Ces grands tassements affectent de près ou de loin, suivant leur ancienneté, les versants et les talus de ravine Grosse Roche ou de la rivière du Mât, en amont du pont de la Savane (fig. 20). Il semble y avoir eu en général deux phases de mouvements correspondant actuellement à deux replats. Ainsi la plate-forme de Mare à Goyaves, témoin d'un vieux tassement, a été repris par un mouvement plus récent correspondant au secteur emprunté par la route de Salazie aux Ramiers. Sur la rivière du Mât, le tassement en amphithéâtre du pont de la Savane semble plus récent que celui d'Artimidor ; il est à signaler que tous deux abritaient jadis une petite mare aujourd'hui disparue ("mare cassée").

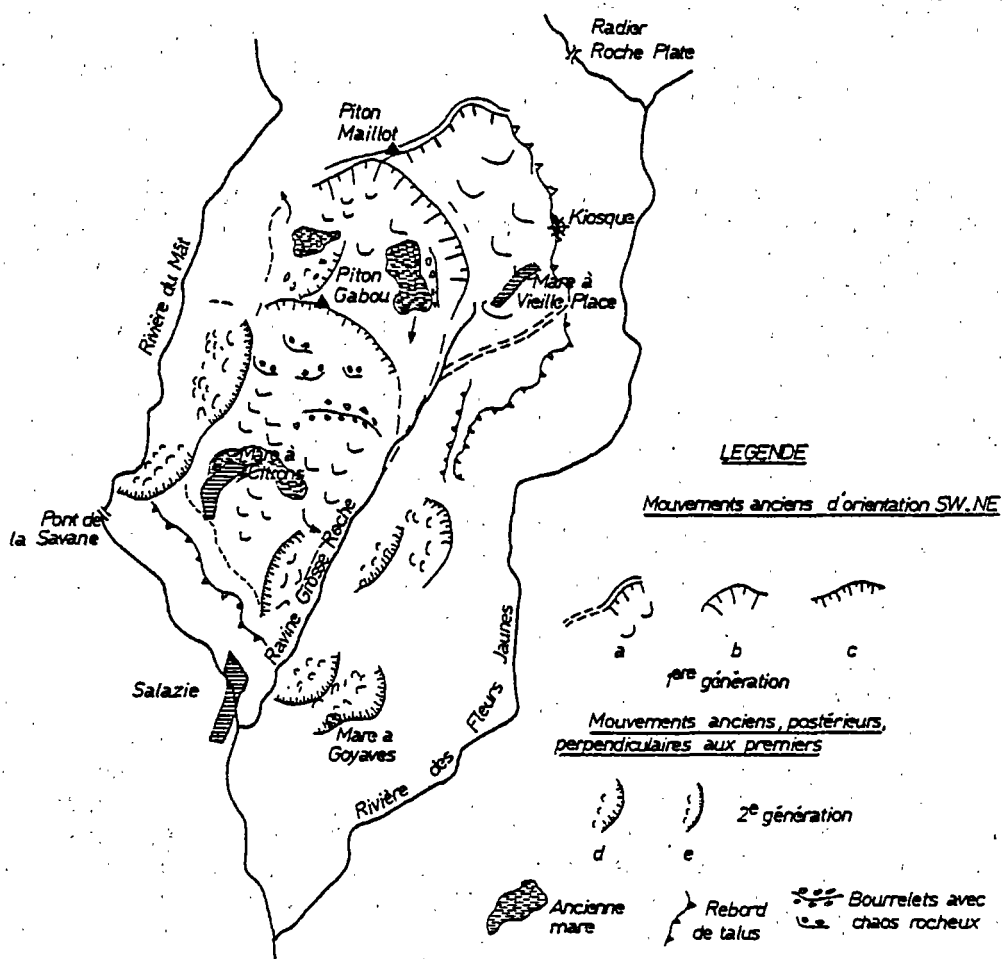


Figure 20 - Mouvements de terrain ancien (d'après interprétation de photos aériennes)

L'analyse des mouvements anciens, est un élément fondamental pour mieux évaluer les problèmes actuels de stabilité des terrains, lors de chaque saison des pluies. En les confrontant par exemple avec les événements qui se sont produits en janvier 1980 ou avec les accidents mineurs (glissements de talus, ravinement, arrachements localisés) qui ont lieu chaque année, on constate que tous les désordres actuels se produisent dans des zones anciennement instables et plus particulièrement dans celles correspondant à la deuxième génération des grands tassements. C'est le cas du tassement-glissement coulée du pont de la Savane, en face de la route d'Hell Bourg, des arrachements et ravinements d'Artimor, des arrachements et des petits glissements sur la piste actuellement coupée de Salazie à Mare à Citrons par la ravine Grosse Roche ou la route montant vers les Ramiers et Mare à Goyaves...

Les versants façonnés à l'aval du grand mouvement de fond de la première génération sont également vulnérables, au moins dans la partie supérieure des talus. En 1904 par exemple, au-dessus de Salazie, dans la grande ravine qui descend et coupe la route au niveau du collège d'enseignement secondaire, une coulée de terre et de blocailles se détacha du sommet et vint se répandre au-dessus de la rivière du Mât. Ce versant draine du reste toutes les eaux venant de Mare à Citrons et possède plusieurs sources pérennes.

Ce drainage, qui s'effectue dans un matériau très remanié est, comme on l'a vu au chapitre II, à l'origine d'un soutirage en profondeur suivant des axes de circulation privilégiée. Quelques effondrements sont remontés en surface, créant un vide que les paysans durent combler.

Enfin, un dernier danger doit être évoqué : celui des inondations torrentielles de ces anciennes mares qui collectent toutes les eaux de ruissellement et dont les exutoires ne sont pas en rapport avec les débits qu'ils doivent évacuer. Ainsi le débordement de la mare à Citrons, à l'amont de la propriété de Monsieur PAYET, a gravement endommagé la route de Grosse Ravine, emportant la chaussée et provoquant des glissements de talus qui ont détruit irrémédiablement tout ce secteur. Plusieurs cases ont été également sinistrées au moment du cyclone "Haycinthe".

2.4 - ILET A VIDOT, HELL BOURG, MARE A POULE D'EAU (zone B4)

Au Sud de la zone précédente et de la rivière du Mât et à la base des remparts du plateau de Bélouve, s'étend un pays qui s'étage sur deux niveaux : îlet à Vidot et Hell Bourg aux environs de 950 m, Mare à Poule d'Eau à près de 700 m, tandis que la vallée du Mât est à 500 m. Relativement peuplée et jouissant d'un certain attrait touristique, cette zone est d'accès précaire puisque la seule route qui dessert ce pays (les tournants "bambous") a été complètement minée par la rupture de la mare en janvier 1980. Par suite d'un afflux exceptionnel d'eau et de boue, le verrou a "sauté" et c'est une avalanche d'eau et de matériau arraché au versant qui a "déboulé" jusqu'au lit de la rivière du Mât détruisant tout sur son passage (route, cases, jardins, végétation). Quant à l'ancienne route d'Hell Bourg, est-il besoin de le rappeler, elle n'existe plus depuis longtemps bien que figurant encore sur la carte touristique à 1/100 000 la Réunion. Elle s'accrochait dans la falaise, en dessous du "kiosque-Belvédère"

et ses derniers vestiges ont disparu avec l'écroulement de janvier 1980, dont on voit encore les traces dans les champs de canne, en contrebas d'Hell Bourg. Actuellement l'accès à Mare à Poule d'Eau et à Hell Bourg se fait par une chaussée provisoire et malaisée (1).

Non seulement les routes disparaissent ou sont irrémédiablement coupées, mais tous les talus en bordure rive droite de la rivière du Mât et de bras Sec sont exposés à des arrachements et à un ravinement intense, d'autant que l'eau trouve dans ces matériaux pyroclastiques remaniés, de teinte bleu grisâtre, un domaine favorable à l'érosion. A ce sujet, il est frappant de constater, et l'enquête l'a montré, la permanente évolution de ces talus qui semblent ne jamais atteindre leur profil d'équilibre malgré l'érosion intense. Cette activité érosive serait liée à la dynamique de l'ensemble de ce secteur, occupé par les champs de canne, les friches, la mare à Poule d'Eau et la route des "tournants bambous". Tout ce massif est en effet un vaste panneau glissé, avec ses rides, ses chaos rocheux, ses dépressions dont la mare et son talus d'arrachement quasi vertical qui va de bras Sec à la rivière du Mât en passant au kiosque, à l'Est de la mare, et au-dessus de la nouvelle route "bambous". Et ce vaste mouvement de fond ne serait pas stabilisé ; évoluant insensiblement vers l'aval, il offrirait à l'érosion, des talus sans cesse rajeunis. La portion de la rivière du Mât et de bras Sec ayant davantage tendance à alluvionner qu'à creuser, on ne peut donc pas porter à l'actif de l'abaissement du profil de base, cette érosion (arrachements, ravinements, bad-lands, absence de végétation) permanente des versants en rive droite de ces cours d'eau. Les écroulements fréquents, du talus du kiosque ou de celui dominant la route "bambous" témoignent également, dans une certaine mesure, de l'activité de ce secteur (2).

Le plateau d'Hell Bourg, avec son chaos de blocs est aussi le témoin d'un vaste écroulement ancien descendu de Grand Fond, lui-même ultérieurement atteint par le grand tassement de Mare à Poule d'Eau. L'îlet à Vidot serait aussi une ancienne zone de glissement avec en bordure, des tassements plus récents (en face bras Sec ou la rivière du Mât) fortement attaqués par l'érosion (arrachements-éboulements-ravinements-bad-lands...) et des éboulis de pente parfois importants (nouvelle piste descendant vers la passerelle de mare d'Af-fouche).

En résumé, l'activité érosive par ravinement, éboulement, glissement-coulée, se poursuivra donc avec une intensité plus ou moins forte selon les événements climatiques. Elle fait peser de sérieuses menaces en bordure de l'escarpement de "faille" du kiosque et du village de Mare à Poule d'Eau, ainsi qu'en pourtour des versants dominant la rivière du Mât et bras Sec. Ces menaces

(1) En août 1981, une partie de la chaussée, à l'aval du versant, est en cours de réfection.

(2) Une observation faite durant la campagne de terrain devrait attirer l'attention de la population sur le danger qu'il y a, pour la stabilité des rebords de talus, de repousser au bulldozer d'énormes blocs à l'extrême limite de la falaise. Au moment du cyclône, cette surcharge a induit plusieurs éboulements, à Salazie comme à Cilaos.

De même, l'épierrage des champs et les déchets rejetés en tête de ravine très pentue peuvent induire, au moment des fortes pluies, des petites coulées qui avec la pente peuvent s'engraisser sur leur parcours et atteindre en fin de parcours un volume non négligeable.

peuvent s'accomplir parfois loin de l'événement originel -soit qu'un écroulement de falaise déstabilise les terrains sur une grande longueur à l'arrière de celle-ci -soit qu'une coulée atteigne loin à l'aval un secteur apparemment sans danger.

Pour terminer, il faut évoquer le problème des inondations liées à l'éventuel débordement torrentiel du bras des Demoiselles, sur le replat du village de Mare à Poule d'Eau. L'histoire de cette ravine mérite une attention particulière car elle illustre bien les conséquences des corrections de torrent lorsqu'elles ne sont pas suffisamment efficaces ou quand les travaux d'entretien ne sont pas assurés régulièrement. A l'origine, la ravine qui descendait d'Hell Bourg devait -tout au moins en période de hautes eaux- évacuer ses eaux en partie dans la mare à Poule d'Eau, en partie dans la ravine derrière l'école. Quand la route fut aménagée, on créa une petite digue qui renvoya toute l'eau dans un mince ruisseau, à l'amont du bras encaissé des Demoiselles. Mais en 1948, un écroulement au niveau de la digue créa un barrage et l'eau en débordant inonda tout le plateau. Une case aurait été emportée avec tous ses occupants. La digue fut alors surélevée mais non pas prolongée vers l'aval et en 1962 (cyclone "Gisèle") se produisit une nouvelle inondation. On oublia alors très rapidement les travaux qu'il fallait réaliser (prolongation et surélévation de la digue, curage et creusement du lit du torrent) et de nouveau en 1980, tout le secteur fut inondé. Si certains travaux ne sont pas réalisés, il se produira encore des débordements à l'occasion de crues exceptionnelles.

2.5 - MARE D'AFFOUCHES (zone B5)

A l'ombre du piton d'Enchaing, cet ensemble est limité à l'Ouest par la ravine des Fleurs Jaunes et à l'Est par la rivière du Mât, en s'appuyant au Sud sur les versants du piton Lélesse (1333 m), d'où partent deux bassin-versants : l'un drainé par la ravine du Camp d'Henri, l'autre par la ravine de l'îlet Mare d'Affouches. C'est un pays assez déshérité, qui s'est dépeuplé depuis ces dernières décennies car les communications sont difficiles : quelques familles y vivent encore et ne sont rattachées à l'îlet à Vidot ou à la route de Grand Ilet que par des sentiers accidentés.

La morphologie témoigne là aussi de l'existence de mouvements anciens liés à une surface voisine de 900 - 1000 m et dont il ne reste plus que quelques vestiges, au-dessus de la ravine du Camp d'Henri (empruntée par un chemin d'exploitation privé montant à Grand Sable). Contemporain de l'encaissement des ravins, des mouvements plus récents se sont produits sur les versants qui sont aujourd'hui très vulnérables aux glissements d'autant qu'ils s'inscrivent dans des formations pyroclastiques remaniées. Toute la zone de mare d'Affouche drainée vers la rivière du Mât a été et est encore le siège d'un vaste mouvement de fond qui continue d'évoluer actuellement. En tête du bassin-versant, un paquet tassé encadré de part et d'autre par la ravine naissante, offre des talus fortement érodés et avec de nombreux arrachements et glissements, dont les produits sont rapidement évacués dans le thalweg principal. En rive gauche, durant le dernier cyclone, tout le versant a flué, notamment à l'aval où l'on observe encore des lignes de rupture avec des rejeux de l'ordre du mètre. Localement, par exemple au-dessus du sentier de Grand Sable (GR1), un glissement a mis à nu une intrusion basaltique, en aval-pendage tout à fait favorable au mouvement. A ce sujet, il serait intéressant de vérifier, comme semble l'indiquer les observations faites dans la rivière du Mât, qu'il existe bien, en dessous de tout le versant, une intrusion de ce genre qui expliquerait la grande fragilité de toutes les pentes de Mare d'Affouche.

Les versants, de part et d'autre de la ravine du Camp d'Henri, également glissés, sont très sensibles à l'érosion : ravinements, arrachements, glissements sont nombreux en rive gauche de même que sur les versants rive droite de la rivière des Fleurs Jaunes.

2.6 - CAMP DE PIERROT ET LE BELIER (zone B6)

Entre la ravine Bélrier au Nord et la rivière des Fleurs Jaunes au Sud Est s'étend une zone au paysage morphologique assez varié, en opposition avec les précédentes. Il existe en effet à cet endroit, une vaste zone d'épandage plate -le Camp de Pierrot- en pente très légère vers l'Est contrastant fortement avec le talus et les mamelons environnants. La ravine du Camp de Pierrot trace nettement la limite entre ces deux secteurs.

Le premier est constitué par un glacis construit à la suite de l'épandage des produits de démantèlement des versants de morne de Fourche, peut-être aussi à la suite d'un grand éboulement ancien qui aurait barré la rivière. D'une épaisseur de 4 à 5 m, ces produits reposent sur des brèches de remaniement plus ou moins consolidées, érodées en "bad-lands", ou localement tassées en paquets sur les talus de Fleurs Jaunes. L'érosion est en effet très active en bordure de ce glacis, non seulement sous forme de ravinement mais aussi par l'apparition de tassements et de glissements dus en grande partie à l'affouillement des berges.

Le second secteur, celui du Bélrier, offre les caractéristiques habituelles des surfaces anciennement glissées avec une topographie irrégulière de creux et de bosses. Le grand sill basaltique de la rivière des Fleurs Jaunes se poursuit ici ; on le suit dans tout le talus de la ravine Camp de Pierrot sauf à son confluent avec la ravine Bélrier. A cet endroit, il est masqué par une coulée ancienne qui aurait débordé par dessus. Comme il existe au pied de cette zone un seuil d'érosion constitué par les intrusions basaltiques de l'aval, les terrains du Bélrier sont relativement stables et le ravinement sur les versants peu actifs. Mais il faut rappeler cependant, comme on l'a vu au paragraphe 1.2, les dangers potentiels d'un écroulement sur les versants qui dominent cette zone ; ce mouvement dont on ne peut pas assurer qu'il se réalisera, aurait un volume et une extension difficilement prévisibles.

3 - LE PITON D'ENCHAING (ensemble C)

Par sa masse imposante, sorte de pyramide culminant à 1352 m, soit près de 500 m au-dessus du fond du cirque, il s'offre à la vue quel que soit l'endroit où l'on se trouve. Limité à l'Ouest par des parois pseudo-verticales, le piton d'Enchaing s'adjoit, à l'Est, le piton Maillot, laissant entre eux deux une dépression nord-sud empruntée par la ravine Piton d'Enchaing.

Le massif d'Enchaing est constitué de matériaux pyroclastiques associés aux dernières manifestations du piton des Neiges et qui se sont accumulés en certains endroits du cirque de Salazie sur des épaisseurs de près de 500 m. Ils forment un mélange assez homogène d'éléments anguleux fortement cimentés par des produits cendreaux, d'où la verticalité des parois. L'ensemble, qui n'est

plus en place, s'est affaissé et a basculé et les pendages vers le Sud Ouest sont de l'ordre de 45°. Il aurait subi un tassement rotationnel, mettant en jeu les laves basaltiques du substratum et les brèches pyroclastiques.

Ces laves affleurent en falaise au Sud Est du piton Maillot, au point coté 742 et soustendent en aval-pendage les versants rive gauche de la ravine du piton d'Enchaing. Cette falaise du reste porte encore localement les témoins visibles (parois lisses, écaillage) de la surface de rupture, lorsque la vaste zone de remplissage de laves et de brèches s'est rompue, s'affaissant ainsi au Sud Ouest se surélevant au Nord Est, isolant le piton Gabou constitué de matériaux désorganisés et glissés. Celui-ci ne fait donc plus partie de l'ensemble et participe aux mouvements de fond qui, comme on l'a vu au paragraphe 2.3, affectent les versants de Mare à Vieille Place et de Mare à Citrons.

Durant le dernier cyclone qui, rappelons-le, a révélé avec force les types d'érosion ou d'instabilité majeure dans les différents secteurs des cirques mais aussi de l'île, trois événements caractéristiques se sont produits mettant en jeu trois facteurs différents. Il y eut d'abord un affouillement important des formations pyroclastiques de la base du piton d'Enchaing, dans un méandre de la rivière du Mât et d'énormes paquets de brèches se sont éboulés. La cicatrice de ces arrachements, de couleur gris-bleu tranche sur le fond vert de la végétation environnante. A l'autre extrémité du piton, au Nord, la crête dominant la pente Carozin s'est écroulée vers l'intérieur (sur le versant rive droite de la petite ravine débouchant au niveau du radier de Grand Ilet), sous forme d'un glissement rocheux banc-sur-banc. Enfin, sur le versant au Sud du piton Maillot et dominant la cuvette où passe la piste de l'ancien hameau de Bras Sec, un glissement d'éboulis se transforma avec l'eau en coulée envahissant les champs et s'arrêtant à proximité d'une case. Les désordres ont là aussi affecté un paquet anciennement tassé.

En résumé, si en lui-même le piton d'Enchaing ne présente pas de dangers particuliers, en revanche la structure aval-pendage du piton Maillot et les fortes contraintes qui en résulte (notamment au-dessus de la piste de Bras Sec) favorisent l'apparition de glissements plans, d'écaillage et de chutes de blocs.

4 - LES FONDS DE VALLEE (ensemble D)

Leur évolution est essentiellement liée au caractère torrentiel des cours d'eau que les vallées abritent. Durant la saison des pluies et au cours des périodes cycloniques, la rivière des Fleurs Jaunes et la rivière du Mât collectent et drainent les eaux et les matériaux arrachés au cirque, et peuvent atteindre des débits extrêmement élevés. Erosion, transport, dépôt et inondation perturbent donc durablement ces fonds de vallées.

4.1 - LA RIVIERE DES FLEURS JAUNES (zone D1)

Avec son affluent la ravine Roche à Jacquot, elle draine la bordure septentrionale et occidentale du cirque de Salazie. Elle se raccorde à la sortie du cirque avec la rivière du Mât. Son profil longitudinal offre deux sections distinctes séparées l'une de l'autre par une zone de dépôts et d'alluvionnement.

A l'amont du radier de Roche Plate, la rivière des Fleurs Jaunes ravine et creuse car elle possède un bassin versant très étendu, développé dans des formations bréchiques et pyroclastiques fortement remaniées, donc facilement érodables, de pentes fortes et en partie dénudées. Par endroits pourtant, au passage d'un sill ou d'une intrusion de roche dure -la ravine n'a plus la possibilité de s'encaisser et de saper ses berges. On observe ainsi une rémission dans l'érosion linéaire ou transversale, à l'amont de ces seuils. C'est le cas par exemple de certains méandres qui de ce fait n'évoluent plus (Nord du piton Grand Sable, Sud du piton Papangue).

La vallée s'élargissant au niveau du radier de Roche Plate, et la pente diminuant, le lit majeur est encombré de matériaux détritiques abondants, redistribués et entraînés plus ou moins loin selon l'importance de l'écoulement. Durant le dernier cyclone, en janvier 1980, le lit majeur et même ancien de la rivière des Fleurs Jaunes fut complètement submergé. L'alluvionnement atteignit plusieurs mètres d'épaisseur, détruisant le radier de Grand Ilet ainsi que la piste de la ravine du Camp d'Henri.

A l'aval du radier, la rivière s'enfonce enfin très profondément dans les séries de base compactes, constituées d'une alternance de laves et de brèches consolidées. Coulant à la base de parois quasi verticales, en une succession de gorges et de cascades, elle constitue un véritable canal qui peut être parfois obstrué par des petits écroulements locaux. L'inaccessibilité de ces gorges ne nous permet pas cependant de savoir si des risques de grand écroulement sont possibles, et par là même d'estimer les dangers liés à une rupture brutale du barrage naturel ainsi formé.

4.2 - LA RIVIERE DU MAT (zone D2)

Elle complète le drainage du cirque de Salazie dans sa partie restante c'est-à-dire sur toute sa bordure orientale, essentiellement au Sud du piton d'Enchaing, avec son affluent ravine Bras Sec. A l'aval, à hauteur de Salazie, la rivière du Mât s'adjoit aussi ravine Grosse Roche.

Le profil longitudinal s'organise également en une section amont qui aboutit au piton d'Enchaing, une section aval qui part du pont de la Savane avec entre les deux un élargissement de la vallée, au niveau de Mare à Poule d'Eau. Le défilé du piton d'Enchaing est particulièrement vulnérable, d'une part au sapement de berges dans le méandre, au débouché de la ravine Olivette, d'autre part à des glissements en rive droite en face de la ravine d'Enchaing. C'est un événement de ce genre qui, s'étant produit durant le cyclone "Hyacinthe", a

barré le défilé et a été l'origine d'un important alluvionnement dont on observe encore les vestiges sous forme de terrasse, en dessous de la passerelle de Mare d'Affouche (1).

Au-delà du défilé, en face de Mare à Poule d'Eau, la rivière du Mât élargit son cours avec un lit majeur constitué d'alluvions grossières. En saison sèche, le mince filet d'eau superficielle du lit mineur pourrait faire oublier qu'en période cyclonique le lit majeur est complètement submergé, et que l'attaque des berges est importante. Toute chaussée implantée en bordure du lit majeur ou sur les pentes directement affouillable en période de hautes eaux est donc menacée à plus ou moins brève échéance.

Au pont de la Savane, la rivière du Mât s'engouffre alors dans des gorges profondes, creusées dans les coulées basaltiques anciennes. Etant donné l'étroitesse du défilé (ou "serré") en période de crues, les eaux montent dangereusement. Et ces crues, comme celles de janvier 1980, liées à des abats d'eau importants ne sont pas exceptionnelles (2). Là aussi, il faut craindre qu'un grand éboulement conjugué à des crues ne viennent obstruer le défilé. Au confluent avec la ravine des Demoiselles, quelques petits éboulements se sont déjà produits et les versants d'éboulis et de brèches ne présentent pas toujours à cet endroit un degré de stabilité absolue.

5 - L'ENTREE DU CIRQUE (fig. 21)

Pour accéder au cirque de Salazie, la route emprunte la seule voie possible qui est celle des gorges de la rivière du Mât, depuis le pont sur la RN 2 à l'aval jusqu'à son confluent avec le bras Fleurs Jaunes à l'amont. La route est en rive gauche jusqu'au pont de l'Escalier puis passe en rive droite en montant vers Salazie.

C'est essentiellement en fonction de la viabilité de la route que nous décrivons les gorges. Elle est liée, comme pour Cilaos, à la stabilité des

(1) Il y a plus d'un siècle déjà dans "l'Album de l'île de la Réunion", vol. I, 1860, le narrateur signale (p. 73) : "il nous a fallu trois longues heures pour traverser l'interminable défilé dans lequel nos pas étaient de temps en temps arrêtés par les épouvantables éboulis que les avalaisons de 1844 et 1847 ont fait dans tout le district de Salazie". On riait en 1835 de l'hyperbole du membre de la Chambre des députés qui avait dit "Gardez-vous d'envoyer des détenus politiques à Salazie où la rivière du Mât entraîne dans ses débordements des quartiers de collines". Depuis sa sinistre prédiction, la rivière du Mât a causé d'immenses, d'incroyables dégâts". Ce genre de narration, nous pourrions la retrouver continuellement car elle témoigne de l'érosion permanente des cirques.

(2) Dans "l'Album de l'île de la Réunion", vol. I, 1860, le narrateur relate p. 84, que "le fondateur de Salazie, Théodore CAZEAU, fut bloqué lui et sa famille à Mare à Poule d'Eau en 1829 par une "avalaison drue, tenace, un vrai déluge qui dure quarante trois jours..." la rivière du Mât, gonflée à pleins bords, dégorgeant à grand peine le trop plein de ses eaux, comprimées par les Serrés".

A l'époque, le chemin de Mare à Poule d'Eau empruntait le fond des gorges, la route ne devant être ouverte que vers 1850.



terrains qui supportent la chaussée et à celle des versants (arrachements, glissements...) et des falaises (chutes de blocs...) qui la dominent. Nous distinguerons de l'aval vers l'amont 3 secteurs principaux.

- Le secteur ouvert des terrasses, à l'endroit où la route est à plusieurs centaines de mètres du cours actuel de la rivière du Mât.
- Le secteur fermé des gorges et des lambeaux de terrasse, la route étant à quelques dizaines de mètres seulement du rebord des terrasses et du lit majeur de la rivière.
- Enfin le secteur rive gauche de l'Escalier et de l'îlet Morin, dans les éboulis à gros blocs.

5.1 - LE PREMIER SECTEUR ne présente aucun problème majeur car la chaussée est construite sur des terrasses anciennes, stables, à un endroit très éloigné du cours actuel de la rivière du Mât. La route est donc à l'abri de l'érosion et des sapements des berges qui n'intéressent que les terrains dominant le lit majeur de la rivière du Mât, à quelques centaines de mètres de là.

Quant à la falaise, elle est peu élevée, avec un talus d'éboulis à sa base, couvert de végétation, avec quelques venues d'eau.

5.2 - LE SECTEUR DES GORGES est, par ses caractéristiques, à l'opposé du précédent. La route, bien qu'installée encore sur une terrasse ancienne (à part quelques rares endroits où la chaussée est ouverte à la base des remparts) n'est plus à l'abri de l'érosion des hautes eaux du lit majeur qui attaquent et sapent les berges dans certains méandres particulièrement menaçants pour la route. Des travaux sont en cours pour éviter que le sapement se poursuive en période de crues tandis que le lit mineur a été canalisé en certains points par un remblai.

Par ailleurs, la route passe au pied des remparts, soit directement à la base de la falaise où des chutes de blocs sont possi-

Figure 21 - Entrée du cirque de Salazie. Extrait de la carte topographique IGN du Département de la Réunion (1/50 000) Feuille 2 - Saint Benoît

bles, soit dans des placages d'éboulis hétérogènes (pierres, blocs...) à matrice sablo-argileuse qui peuvent donner lieu à des arrachements et de petites coulées boueuses, les versants étant humides, avec de nombreuses venues d'eau.

5.3 - DANS LE DERNIER SECTEUR, de l'Escalier à l'entrée de Salazie, le trajet de la route abandonne le fond des gorges et emprunte les talus d'éboulis à gros blocs au pied d'une coulée basaltique, à l'origine de ces blocs éboulés. Sur l'autre rive, on observe également des talus identiques, occupés par des jardins et quelques cases.

Reposant en partie sur des lambeaux d'anciennes terrasses avec certaines imbrications probables de l'une et l'autre formation, cette zone de talus et de versants continue à tasser comme en témoigne le gauchissement de la chaussée ou les désordres survenus aux murs de soutènement. Cette portion de route exige donc un entretien continu, en veillant à ce que certains ravinements ne remontent pas, par érosion régressive, jusqu'à la chaussée.

Par ailleurs, si les blocs qui se détachent de temps à autre de la coulée basaltique sont généralement bloqués sur leur trajectoire par le talus d'éboulis sous-jacent, certains blocs peuvent cependant être remis en mouvement et atteindre la chaussée.

En résumé, le tracé de la route des gorges de Salazie présente, dans son secteur intermédiaire, quelques points vulnérables liés essentiellement à l'activité érosive des eaux de hautes crues. Des travaux sont en cours pour protéger ce secteur.

CHAPITRE IV
LE CIRQUE DE CILAOS



Le plateau des Etangs avec l'agglomération de Cilaos,
au pied du massif du piton des Neiges

Il s'organise de la même façon que le cirque de Salazie car ils procèdent tous les deux de la même origine et d'une évolution semblable. De forme circulaire, il s'ouvre vers le Sud par l'intermédiaire du défilé du bras de Cilaos, étant enserré partout ailleurs par des remparts infranchissables (coteau Kerveguen, Dimitille, Petit Bénard, Grand Bénard) où par les abrupts du piton des Neiges et des Salazes.

1 - LES REMPARTS ET LES BORDURES DU CIRQUE (ensemble A)

Peut-être encore plus nettement que dans le cirque de Salazie, il y a à Cilaos opposition entre les remparts avec leur crêtes rectilignes à l'Ouest comme à l'Est, et les versants méridionaux du massif des Salazes (piton des Neiges 3070 m, le Gros Morne 2991 m) terriblement déchiquetés par l'érosion (rond du Bras rouge) ou tombant en gradins au-dessus de Cilaos (Petit Matarum, Grand Matarum). Une autre différence également avec Salazie est l'existence de nombreux petits îlets au pied des remparts, le creusement des vallées et le drainage ne s'étant pas effectué, ici, directement à leur base. Ainsi Petit Bras isole de Palmiste Rouge et de Peter Both une série de petits replats (îlet Gros Galets, îlet à Calebasse, îlet Haut) comme le fait de même le bras de Saint Paul et les Trois Bras en isolant les petits îlets à la base du Petit Bénard (îlet du Grand Coude, îlets du Bras de Saint Paul, Parc à Dennemont) de l'îlet à Cordes et du Cap Noir.

1.1 - LE BASSIN-VERSANT DE BRAS ROUGE ET DE LA RAVINE DES FLEURS JAUNES (zone A1)

Au pied méridional de la crête des Salazes, s'ouvre un très vaste entonnoir (rond du Bras Rouge) dont le goulet se trouve 1500 m plus bas, au confluent des nombreuses rigoles et ravines qui forment à cet endroit le grand torrent du Bras Rouge. C'est en effet en face de cap Bouteille, au niveau d'un seuil d'érosion constitué par une coulée basaltique, que se rassemblent les eaux, les débris de roches, les blocs écroulés qui vont alimenter à l'aval le lit du torrent. Le secteur est particulièrement sensible à l'érosion et durant le cyclone "Hyacinthe" par exemple, une paroi en rive gauche a été réactivée par des arrachements, des écroulements... Quelque 200 m en dessous, la route de l'îlet à Cordes enjambe le torrent, pavé de blocs énormes suspendus dans le vide, coincés entre les parois de basalte empruntés par les eaux de la cascade (bassin des Salazes). Il n'est donc pas improbable que sur le parcours du torrent d'autres écroulements aient lieu, obstruant temporairement son lit.

Aux abords du pont et sur le versant rive gauche de Bras Rouge, une intrusion basaltique injecte le versant conformément à la pente. Elle est recouverte d'éboulis, de brèches plus ou moins consolidées qui, avec l'eau ont tendance à glisser. Des désordres affectent la route, davantage encore lorsque les talus sont taillés dans les éboulis meubles et mal drainés, en discontinuité sur les dykes. En revanche, en se dirigeant vers Cilaos, un banc épais et compact de syénite, en léger amont pendage, bloque le versant en aval de la route et en particulier l'îlet de la ravine Ferrière (îlet Dijoux).

Sur la rive droite de Bras Rouge, sous l'îlet des Salazes, la route de l'îlet à Cordes recoupe de nombreuses ravines (bras Ti Louis, ravine Gobert, ravine Coin, ravine Aurélien...), des cônes d'éboulis, des matériaux bréchiques désorganisés et fracturés. Les risques de chutes de blocs sont nombreux. Vers l'îlet Bleu, l'îlet Chicot et la ravine Fleurs Jaunes, les versants sont également très pentus et parcourus par des ravines qui posent des problèmes au passage de la route. Durant le cyclone, elles ont toutes fortement alluvionné et ont détruit parfois les chaussées. Dans ce cas, l'existence de radier a toujours été bénéfique.

1.2 - LE BASSIN-VERSANT DU BRAS DE BENJOIN (PETIT ET GRAND MATARUM) ET DU BRAS DES ETANGS (zone A2)

A l'extrémité du cirque et dominant Cilaos, les versants méridionaux du piton des Neiges se développent en deux gradins principaux : le plateau du Petit Matarum et la forêt du Grand Matarum, vestiges de très anciens éboulements. La partie amont du bras de Benjoin avec ses affluents rive gauche, recueille essentiellement les eaux du Petit Matarum, gradin situé vers 1 900 m d'altitude et isolé à l'aval par une falaise d'une centaine de mètres et plus. Le Grand Matarum, vaste zone chaotique, avec des blocs atteignant parfois plusieurs dizaines de m³ serait le produit de l'écroulement du gradin supérieur, qui aujourd'hui n'est plus représenté que par le replat du Petit Matarum. La route de Bras Sec, comme celle de la roche Merveilleuse parcourt cette vaste zone éboulée, caractérisée par un amoncellement de blocs de toutes tailles qui sont par endroits exploités pour faire des moellons.

C'est à dessein que nous insistons sur le caractère particulier de cette zone car ce grand écroulement, qui arrive aux portes de Cilaos, va avoir des répercussions sur le comportement mécanique et hydraulique des versants du Grand Matarum. En effet, l'examen des photographies aériennes, montre très nettement l'existence d'un grand glissement au niveau de la piste forestière qui monte vers Bassin Bleu. Ce mouvement ancien (fig. 22), dont la niche d'arrachement se situe à hauteur du dernier lacet de la piste (où le talus s'éboule fréquemment et au-dessus du plateau des Chênes), a donc repris les matériaux déjà écroulés et s'est étendu certainement jusqu'à l'église et au Trou Pilon, descendant ainsi jusqu'au bras des Etangs à hauteur de l'ancien chemin des Thermes. L'abondance de l'eau dans ce versant, qui a conduit à faire d'importants travaux d'assainissement avant d'y construire au bord de la pente, l'église et le séminaire, est caractéristique d'une zone fortement remaniée en profondeur. A côté des travaux de drainage, on peut estimer que la portion de route en lacets des Thermes constitue actuellement un solide contrefort pour ce versant instable par nature. Toutes perturbations importantes et continues du débit des sources et des exutoires seraient le signal d'une modification du régime hydraulique des eaux à la suite d'un réajustement des terrains. C'est généralement un signe précurseur à des mouvements de plus grande ampleur.

Plus à l'Est, le bras de Benjoin draine dans sa partie amont le plateau du petit Matarum et la forêt qui s'étend à ses pieds. Enormes chaos de blocs, nombreux gradins soulignés par des cascades, tout ce secteur est le vestige d'écroulements successifs anciens, qui localement continue d'évoluer, mais à l'échelle d'une paroi, d'une falaise. La toponymie est par exemple significative : "source de la Roche qui glisse".

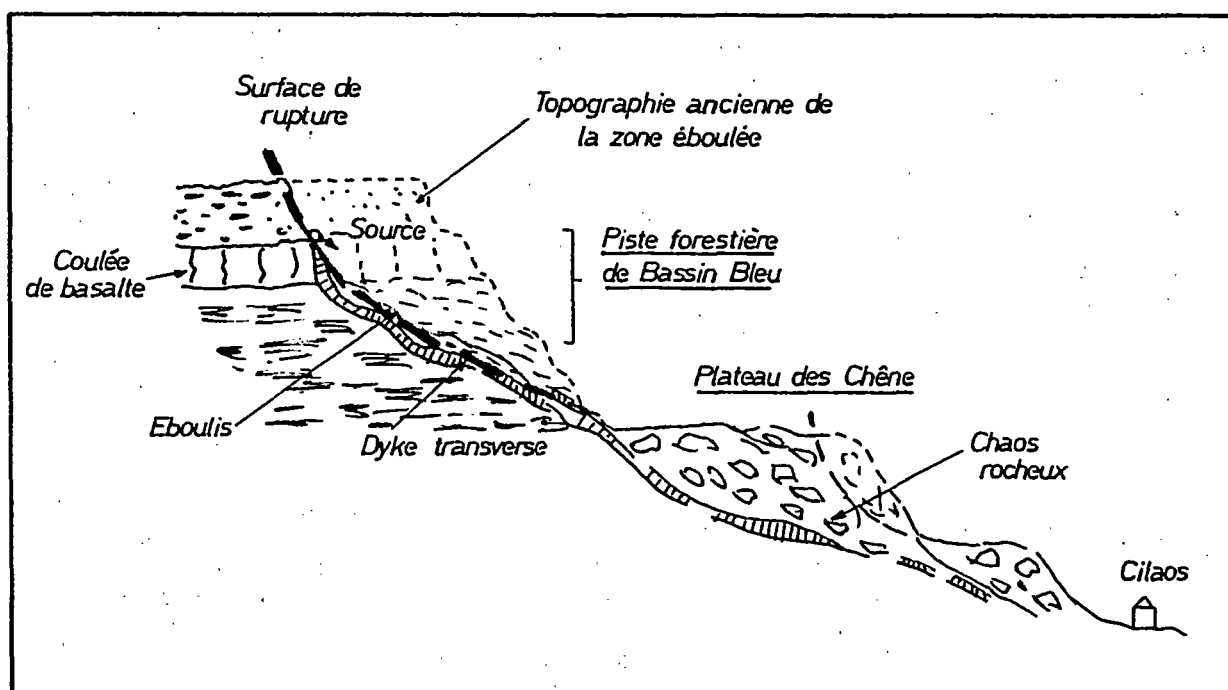


Figure 22 - Ancien écoulement du plateau des Chênes

I.3 - LA BORDURE ORIENTALE DES REMPARTS (DE LA FORET DE LA MARE A JOSEPH A PAVILLON) (zone A3)

Bien dessinés au Nord comme au Sud, les remparts de Kerveguen et de Dimitile offrent des parois lisses de près de 800 m de haut, avec des pentes très fortes de l'ordre de 70°. Ces deux sections se rejoignent au niveau du Bonnet-de-Prêtre par les versants de l'Entre Deux, qui forment également un rempart mais pas d'une manière aussi tranchée. Du sommet de l'Entre Deux (2350 m), la ligne de crête des remparts descend régulièrement jusqu'à l'entrée du cirque (1578 m au-dessus de Pavillon) ou forme une légère dépression au Nord, jusqu'à la caverne Dufour, correspondant au revers de la plaine des Salazes.

Les remparts sont formés, comme à Salazie, d'un empilement de laves basaltiques et de bancs de scories, d'épaisseur métrique. Couvert d'une maigre végétation, leurs parois sont pratiquement figées et n'évoluent plus. Aucune ravine active n'entaille profondément les parois.

Aux remparts de Dimitile, nous rattachons les petits îlets que limitent au Nord, la ravine de Petit Bras et celle des Calumets avec ses gorges profondes. L'îlet Gros Galets de forme pyramidale, témoin d'un ancien écroulement, continue d'évoluer par tassement généralisé en direction de la ravine qui l'incise à sa base. Les quelques grandes zones d'arrachement, datant de 1932 et 1948, ont été réactivées au dernier cyclone (janvier 1980) et de "nombreuses fêlures" ou fissures sont apparues en bordure de l'îlet. Quelques petits éboulements ont créé des barrages temporaires de la ravine. L'îlet Calebasse est également fortement érodé à sa base, se situant dans un méandre attaqué par les eaux : une ligne de source draine, dans la partie inférieure du talus, les eaux recueillies à la base du rempart par cette zone chaotique, en creux et en bosses, de l'îlet. En définitive, tous les versants au-dessus de la ravine des Calumets sont vulnérables à des glissements, arrachements et ravinements qui ne

constituent pas un réel danger puisqu'ils ne menacent aucun aménagement particulier. Si le sentier pour l'îlet Calebasse est coupé, il pourra être facilement rétabli, ce qui ne serait pas le cas, si une piste desservait ce hameau.

En poursuivant vers Pavillon, toujours au pied des remparts de Dimi-tile, nous trouvons une suite de panneaux effondrés, fortement disséqués par l'érosion et qui conservent de très maigres glacis sur leurs versants, affectés localement par des phénomènes de reptation superficielle des sols ("creeps"). Ils deviennent nombreux sur les pentes de l'îlet Haut et perturbent considérablement les terres. L'ensemble de ces panneaux tombe verticalement sur le petit Bras de Cilaos, s'encaissant ainsi profondément dans le substratum basaltique du cirque.

Les remparts des Calumets ont un aspect moins régulier que ceux du coteau Kervéguen. Malgré d'anciennes traces de ravines ou d'écroulements, ils n'évoluent plus. On trouve à leur base des panneaux effondrés comme à l'amont de la ravine des Calumets, vers le Bonnet-de-Prêtre (1712 m) ou la mare de Montfleury -ou bien des épandages de blocs comme dans la forêt de la mare à Joseph-. En dehors du lot habituel des ravinements et arrachements en pied de talus, et l'éventualité de quelques chutes de blocs, aucun danger particulier ne menace ces zones.

I.4 - LA BORDURE OCCIDENTALE DES REMPARTS (DE LA FORET DE TAPCAL A PAVILLON) (zone A4)

Du Grand Bénare (2896 m) à la Fenêtre (1574 m) au-dessus de Pavillon, en passant par le Petit Bénare (2543 m), la ligne de crête des remparts dessine un hémicycle particulièrement régulier, dominant de 1500 à 1800 m de haut les petits îlets situés à leur pied. L'empilement des coulées de basaltes apparaissent peut-être plus nettement ici qu'ailleurs. Les fines rayures horizontales des différentes strates ne sont pas masquées par la végétation qui est extrêmement réduite, comme par exemple sur les parois en-dessous du Petit Bénare verticalement, quelques traînées blanchâtres strient les versants et correspondent à des filets d'eau temporaire, lors de la saison des pluies, ou à de petits décollements des parois rocheuses. La grande écaille du coude du bras de Saint Paul -qui constitue le seul grand écroulement potentiel reconnu actuellement dans les remparts-produit continuellement des éboulis dont la traînée est visible de très loin.

Au pied des remparts, on trouve comme précédemment, des petits îlets en forme de gradins inclinés et allongés, composés à la fois de brèches détritiques et aussi d'éboulis tombés des crêtes. Certaines ressemblent parfois à des cônes de déjection triangulaire, encadrés et rongés de tous côtés par les ravines. Ce sont par exemple, l'îlet Grand Coude, l'îlet Sonjes, les îlets du Dennemont en face le cap Noir. Le ravinement, les arrachements, les écroulements sont au moment des pluies extrêmement importants dans tous les torrents et ravines qui drainent cette zone de piémont. Dépôt et transfert de matériaux se succèdent inexorablement tout au long de leurs cours et viennent alimenter la charge solide du bras de Saint-Paul. Aujourd'hui, la plupart de ces îlets sont dépeuplés et les sentiers sont perpétuellement coupés par le ravinement et les glissements de terrain. Si le risque est diminué d'autant -puisque'il n'y a plus

d'habitat permanent - il n'en demeure pas moins que les quelques terres de cultures disparaissent chaque jour un peu plus. Seul le reboisement de ces espaces incultes permettrait de freiner et de ralentir l'érosion.

2 - LES GRANDS ILETS (ensemble B)

Comme à Salazie, il existe à Cilaos en dehors des petits îlets adossés aux remparts, des replats plus vastes découpés dans des brèches et des produits détritiques ayant près de 100 à 150 m d'épaisseur. La structure même des îlets est constituée de formations pyroclastiques variées, toutes provenant du remaniement et du transport des produits volcaniques. Certaines brèches formées à sec renferment des blocs et des pierres de toutes tailles, enrobés dans une matrice peu chargée en argile donc très perméable et friable. D'autres proviennent de la consolidation d'anciennes coulées boueuses (ou lahar) et comportent des éléments de nature et de taille très diverses (allant du cm^3 au m^3). Plus indurées que les précédentes, ces brèches sont moins exposées au ravinement et offrent des parois verticales relativement stables.

Ces grands îlets sont relativement peuplés et mis en valeur car ils sont tous reliés entre eux et à l'extérieur par une route. Ils se situent en gros à deux niveaux : les premiers entre 1100 et 1200 m d'altitude avec l'îlet à Cordes (300 habitants), l'îlet des Etangs (Cilaos 2700 habitants), Bras Sec (650 habitants), la Mare Sèche et la Plate-Forme ; les seconds, aux environs de 800 m avec l'îlet du Palmiste Rouge (800 habitants).

2.1 - L'ILET A CORDES (zone B1)

Couvrant à peu près une superficie de 135 ha, cet îlet est isolé de tous côtés par des ravines très profondes : le bras de Saint-Paul à l'Ouest et au Sud ; la ravine Patience, la ravine du Camp de Puces et Bras Rouge à l'Est. Depuis l'ouverture de la route, l'îlet à Cordes bénéficie d'une liaison avec Cilaos qui a permis de désenclaver ce secteur qui était à 3 h de marche soit de Pavillon, soit de Cilaos, par des sentiers très accidentés. La ressource principale est la culture des lentilles, auxquelles s'ajoute celle des haricots, du tabac et un peu de vignes.

La surface de l'îlet offre l'aspect habituel, avec ses chaos de blocs de toutes tailles, ses creux et ses bosses sans aucune organisation apparente. On peut cependant observer un certain nombre de gradins ; plateau Manille, plateau Bibasses, plateau Terres Fines, témoins d'anciens fluages antérieurs à l'encaissement des ravines, en gros de direction Nord-Sud. En revanche, avec le creusement du réseau hydrographique, les tassements et les coulées se succèdent et affectent les talus des torrents : on voit encore aujourd'hui les cicatrices de ces désordres, de direction perpendiculaire aux fluages. De même, certains indices morphologiques laissent supposer l'existence d'anciens grands tassements de versants, à l'Est de l'îlet à Cordes : comment en effet expliquer le sillon du Fond de la Cour avec sa contrepente vers l'intérieur de l'îlet et le sillon emprunté par la ravine du Camp de Puces, parallèle au premier et à mi-pente sur le versant dominant Bras Rouge.

Ces mouvements anciens ayant affecté les versants de l'îlet à Cordes, a donc considérablement désorganisé un matériau qui par sa nature même l'était déjà. Ils offrent donc un terrain privilégié à l'érosion, essentiellement sous la forme de ruissellement et de ravinement à la saison des pluies, dans les secteurs dénudés. En effet, en dehors des petits écroulements ou glissements de talus, les précipitations du cyclone Hyacinthe n'ont pas provoqué de grands mouvements qui auraient pu menacer la bordure du plateau.

En s'éloignant du plateau et en descendant au fond des grandes ravines (Saint-Paul et Bras Rouge), la situation n'est plus identique. Nous verrons dans le chapitre prochain, traitant "les fonds de vallées", que des menaces d'écroulements importants peuvent provoquer un embâcle des ravines avec toutes les conséquences qui en découlent (inondations, crues de rupture...).

A part, mais ayant les mêmes caractéristiques que l'îlet à Cordes, le coteau des Orangers, aujourd'hui inculte, présente un versant oriental un peu moins exposé à l'érosion régressive car les formations détritiques reposent à mi-pente sur les coulées basaltiques de base.

2.2 - LE PLATEAU DE CILAOS (ILET PLATE-FORME, MARE SECHE, LES ETANGS) (zone B2)

Vu du piton des Neiges ou des hauteurs de Peter Boht, le territoire situé entre le bras de Benjoin à l'Est et le bras Rouge à l'Ouest a de loin l'aspect d'un vaste plateau occupé aux deux tiers environ par l'agglomération de Cilaos (1200 m). Mais cette impression se transforme en parcourant la route qui, par gradins successifs, conduit à Cilaos. A partir du bras de Benjoin, et en arrivant sur le plateau, on atteint l'îlet Plateforme, petit replat en banquettes à l'altitude de moyenne de 1 000 m, puis l'îlet de la mare Sèche avec le brûlé Marron d'une superficie plus grande et situé aux environs de 1100 m. Enfin, après le dernier gradin franchi, au niveau de l'Echo, nous arrivons au Grand îlet des Etangs ou des Mares qui est à proprement parler l'îlet de Cilaos. Il s'appuie au Nord sur les contreforts du Grand Matarum.

. Les talus des îlets

Ces différents gradins, qui dans leur ensemble constituent le plateau de Cilaos, offrent tous des dénivelés très importants par rapport au niveau de base des ravines et en conséquences des talus très raides, parfois sub-verticaux. Sur la bordure occidentale et compté à partir de leur confluence avec le bras Rouge, les dénivelés sont de l'ordre de 400 à 500 m pour le bras des Etangs, la ravine Henri DIJOUX, la ravine des Aigrettes et la ravine Roche Pendue. Toutes ces ravines ont une caractéristique : de direction NE-SW, parallèles et proches les unes des autres, elles constituent un premier système érosif en attaquant obliquement le plateau contrairement au bras de Benjoin qui le longe à l'Est. C'est un fait important car il conditionne l'agressivité de l'érosion régressive en tête de ravine et la disparition à long terme des terres qui les dominent. Attaquant successivement tous les versants occidentaux du plateau, l'érosion trouve ici un terrain de prédilection : matériaux détritiques et brèches de démantèlement peu consolidées, talus verticaux d'une centaine de mètres, versants décharnés et érodés en "bad-lands", eau souterraine entrant en charge à la saison des pluies, anciens mouvements de fond en bordure des

îlets... C'est ainsi que les extrémités des îlets de la Plateforme, des Aigrettes, de l'Echo... au-dessus de Bras Rouge ne sont plus séparées les unes des autres que par des talus fortement inclinés qui se rejoignent pour ne plus former qu'un étroit passage qui disparaît bien vite au profit d'une arête en lame de couteau. Celles-ci, faites de cailloux enrobés de sables agglomérés se dressent parfois à la verticale, hautes d'une dizaine de mètres, elles se détruisent pour donner un paysage de "bad-lands", de clochetons près à s'écrouler... Les pentes sont si fortes et le ravinement est si intense que bien souvent la végétation a de la peine à s'y installer.

Il n'est pas nécessaire d'épiloguer plus longuement sur ces paysages qui témoignent d'une érosion continue et insidieuse du relief à chaque saison des pluies, qui mine et ronge le soubassement et la bordure des îlets. Mais il existe aussi une érosion de "crise" qui se manifeste chaque fois que des précipitations exceptionnelles se déversent sur les cirques. Ce fut le cas lors du cyclone "Hyacinthe" en janvier 1980 (mais aussi vers 1870, et en 1948...) qui provoqua des désordres importants en bordure de Mare Sèche. Tout un panneau de la falaise des Aigrettes s'écroula, emportant le tournant de la route, tandis qu'un peu plus loin s'ouvraient des fissures semi-circulaires longues d'une centaine de mètres, larges de plusieurs dizaines de centimètres, avec des rejeux de près de 1 m, en bordure immédiates de la falaise. Ces panneaux en voie de tassement continueront d'évoluer dans les prochaines années pour ensuite s'écrouler dans la ravine. On peut estimer que toute la falaise en rive gauche de la ravine des Aigrettes, allant de l'Echo jusqu'au delà de la chapelle de Mare Sèche, est menacée à court terme par des tassements-éboulements de même nature que celui qui s'est produit en janvier 1980 et décrit au paragraphe 2.3.

C'est ce type de mouvement qui, à la fin du siècle dernier, provoqua l'assèchement de la mare, les eaux s'étant vidées dans la ravine. Aujourd'hui, plusieurs sources permanentes jaillissent à mi-pente dans la falaise, indiquant ainsi l'existence d'un drainage profond des eaux de tout le secteur amont.

Sur la bordure orientale, la ravine Benjoin constitue un deuxième système érosif beaucoup moins agressif que le premier. Contrairement à bras Rouge qui attaque directement le plateau de Cilaos à la faveur de ses trois grands affluents (ravine de la Roche Pendue, des Aigrettes, Henri DIJOUX) elle ne présente aucune ravine affluente. L'érosion actuelle est donc limitée au talus rive droite de la ravine Benjoin qui longe à l'Est l'agglomération de Cilaos et ne concerne que quelques endroits seulement. A l'amont, au Nord et au Sud du sentier menant à Bras Sec, deux endroits sont particulièrement exposés au ravinement, arrachements, écroulements. Ils correspondent à d'anciens tassements-éboulements dont l'un date du cyclone de 1948, et qui ont rejoué en janvier 1980. Le reste des talus colonisés par une maigre végétation ne présente pas de ravinement actif et ont atteint leur profil d'équilibre.

A l'aval, à partir de son confluent avec la ravine Bras Sec, la rive droite de la ravine Benjoin offre deux catégories de talus. Le premier qu'emprunte les lacets de la route de Cilaos est constitué par un très ancien glissement, dont le pied est attaqué par les eaux de la ravine. Il est certain qu'à l'avenir ce versant continuera à se tasser lentement, entraînant des désordres à la route. La deuxième catégorie de talus est celle que l'on rencontre un peu plus bas, avec ses aires affectées d'un ravinement actif de type "bad-lands", plus particulièrement dans les méandres en-dessous de l'îlet Plateforme.

Enfin, l'un des derniers talus dont il faut parler est celui qui domine le bras des Etangs, au-dessus des thermes de Cilaos, immédiatement à l'Ouest de la petite ravine dont la tête remonte en direction du trou Pilon. Formées de brèches pyroclastiques, de centres, de scories gris bleu, d'une centaine de mètres de hauteur, il est fortement attaqué par l'érosion ; des écroulements, des arrachements ont affecté la bordure du talus, sous le quartier du Bras des Etangs, durant le cyclone "Hyacinthe" et de nombreux petits cônes d'éboulis ont dévasté à sa base les plantations de Cilaos. Bien que les travaux de défense effectués dans le lit du bras des Etangs ait supprimé tout sapement à la base du talus, il n'en reste pas moins vulnérable à des écroulements localisés qui pourraient menacer les habitations lorsque celles-ci se trouvent en bordure immédiate du talus.

. La surface des îlets

Comme partout ailleurs, elle offre une succession de creux et de bosses au milieu d'un chaos de blocs de taille diverse où s'insèrent de maigres cultures (lentilles, haricots, vigne...). Le sol, en bien des secteurs, commence à se former par une simple mise en débris de la roche mère, truffée de blocs, de cailloux et de décombres de toutes sortes qui rendent les labours impossibles. Le "galet" est le grand adversaire du paysan des cirques. Les galets ou cailloux sont partout en profondeur comme en surface car le véritable sol est vite entraîné soit superficiellement par les eaux de ruissellement, soit en profondeur par lessivage des fines à travers les dépôts de surface.

Comme dans le cirque de Salazie, certains de ces creux ou cuvettes sont colmatés et l'eau, en période de pluies importantes, s'y accumule. Ainsi par exemple lors du dernier cyclone de 1980, le cimetière de Cilaos et ses abords furent inondés, ainsi que le rez-de-chaussée de la maison construite sur les bords de la cuvette. Avant l'aménagement de Cilaos, l'événement était courant et les mares permanentes ou temporaires étaient nombreuses. Malgré le drainage et l'assèchement de ces mares, il se produisit encore quelques catastrophes. Ainsi DEFOS DU RAU (1956) relate (p. 274) :

"Les mares du plateau des Etangs furent asséchées en 1872 par le creusement d'un chenal jusqu'au Bras des Etangs : mais dans la nuit du 27 mars 1874, après de grosses pluies, un éboulement fit barrage et un lac s'étala dans les cuvettes ; les habitants durent se réfugier dans l'église -(l'ancienne)-. Le barrage creva soudain et la masse d'eau, balayant une partie du village, se précipita dans le bras des Etangs d'une hauteur de 100 m ; du coup, le versant en face, miné, s'écroula et barra le bras, qui menaça les villas des baigneurs ; lorsque la digue creva à son tour, cela fit monter le bras Rouge, qui envahit l'îlette de la Roche Pendue, où trois enfants furent noyés".

Il est certain que le réseau de drainage peut être exposé à des mouvements de terrain superficiels ou profonds et soit obstrué à nouveau, provoquant ainsi des inondations dans les anciennes mares ou cuvettes. S'ajoutant aux inondations naturelles, elles peuvent menacer l'économie de Cilaos, si certaines précautions élémentaires ne sont pas respectées (recensement des zones inondables, entretien des réseaux, planification urbaine et construction tenant compte de ces facteurs...).

2.3 - L'ILET BRAS SEC (zone B3)

Au Sud de la forêt de la Mare à Joseph (1380 m) et après avoir franchi un gradin, nous atteignons, 100 m plus bas, l'îlet de Bras Sec (1260 m) qui s'appuie à l'Est sur les contreforts des remparts de l'Entre-Deux et qui domine à l'Ouest, de près de 150 m, le lit de la ravine du Bras de Benjoin. Situé à la même altitude que l'îlet des Etangs ou de Cilaos village, il est le témoin d'une ancienne surface démantelée, qui avant l'encaissement du bras de Benjoin, tapisait tout le fond du cirque. Abritant près de 700 habitants et réputé par ses plantations de vigne, le village de Bras Sec est quelque peu isolé depuis le dernier cyclone. En effet, la route récente rejoignant directement la RN 1 à 1 km environ du tunnel de Gueule Rouge a été complètement détruite par des glissements de terrain superficiels et profonds. Seule subsiste la liaison avec Cilaos par le Nord.

L'îlet proprement dit présente les mêmes caractéristiques que l'îlet de Cilaos puisqu'il en fait intégralement partie. Creux et bosses se succèdent en surface, au milieu d'un chaos de blocs et de cailloux. Les talus au-dessus du bras de Benjoin ne présentent plus d'érosion active et sont colonisés par la végétation, sauf à l'aval, au confluent avec la ravine Bras Sec où quelques ravinements et écroulements eurent lieu en janvier dernier. En revanche, tout le cours inférieur de Bras Sec, qui s'encaisse profondément à l'extrémité de l'îlet, a été affecté tant sur sa rive droite que sur sa rive gauche par des désordres (arrachements, glissements, écroulements) intenses qui ont plus ou moins obstrué son lit. En tête de ravine, l'érosion régressive s'est rapprochée dangereusement de quelques maisons.

Le versant du cap Sylvestre, en rive gauche de la ravine Bras Sec, a en effet subi d'importants désordres, à tel point que la route récente de Bras Sec a été emportée en plusieurs endroits par des arrachements, des glissements ou bien a subi des tassements irréparables. La reconnaissance de terrain et l'examen des photos aériennes indiquent que tout le versant, jusqu'à l'îlet du Bonnet Carré est affecté par un vaste mouvement de fond, localement réactivé par des glissements et des ravinements superficiels. Tous les "chicots" rocheux, bréchiques du cap Sylvestre, qui "crachent" continuellement des éboulis, sans jamais se cicatriser, témoignent de l'activité de ce versant "en marche"(1). Par ailleurs, l'existence dans le premier tournant de la route à hauteur de la ravine Blanche, d'une intrusion basaltique concordante à la pente, remontant très haut dans le versant (au niveau du sentier de l'îlet du Bonnet Carré) et recouverte d'éboulis, est manifestement à l'origine des glissements qui ont affecté tout ce secteur. La route à cet endroit est donc irrémédiablement condamnée car le mouvement de fond se poursuivra et les glissements, arrachements et autres désordres superficiels continueront de menacer à chaque saison des pluies le versant du cap Sylvestre, de la ravine Blanche à l'extrémité de l'îlet de Bras Sec.

(1) Le témoignage d'un vieux paysan de Bras Sec vient confirmer cette hypothèse : il a vu évoluer ce versant et se souvient que ses parents lui avaient dit que le paysage du cap Sylvestre se transformait sans cesse au cours des années, les chicots et les éboulis devenant de plus en plus nombreux.

2.4 - L'ILET PALMISTE ROUGE (zone B4)

Parmi les grands îlets, Palmiste Rouge est à un niveau topographique nettement inférieur aux précédents, aux environs de 850 m. Drainé par le cours supérieur de Petit Bras, l'îlet occupe le fond d'un petit cirque, limité au Nord par les parois abruptes de Grand Piton (1463 m) et de Piton Morel d'une hauteur de près de 500 m, et à l'Est par la ravine des Calumets profonds d'une centaine de mètres par rapport à la surface de l'îlet. Bien individualisé mais aussi de faible superficie, le bourg de Palmiste Rouge compte cependant près de 800 habitants, et étend son emprise au Nord, vers le cap.

La surface de l'îlet est également chaotique, avec de nombreux blocs et cailloux, plus nombreux cependant à la base des remparts de Piton Morel et de Grand Piton. Elle est drainée dans sa partie ouest par les ravines Martin et Bras Morel qui se rejoignent à l'extrémité méridionale de l'îlet, pour se jeter dans la ravine des Calumets toute proche, le tout allant former Petit Bras.

Bien que la bordure de l'îlet, au-dessus de la ravine des Calumets ne présente pas d'importantes traces d'érosion récente, il subsistera néanmoins toujours un danger si l'on s'installe trop près du rebord de talus. A l'occasion de la création du terrain de sport de Palmiste Rouge, à trop vouloir s'approcher du bord, sans avoir effectué les comportements d'usage du versant pour lutter contre le ravinement et les arrachements, il y eu des désordres lors du dernier cyclone (1980), quelques secteurs ayant glissé en bordure de versant.

Un seul événement sérieux a menacé quelques habitations dans Palmiste Rouge, construite au sommet du talus d'un méandre très prononcé du Bras Morel. La forte saturation en eau du talus constitué de brèches mal consolidées, conjuguées au sapement du pied par le flot torrentiel a provoqué un glissement de terrain et des tassements semi-circulaires soulignés par de larges fissures dans les jardins avoisinants. Les conditions sont à peu près semblables à l'amont comme à l'aval, car le bras Morel présente une succession de méandres en "chicanes" qui sont, au moment des crues attaqués perpendiculairement par les eaux lourdement chargées de boues et de blocs. On peut donc craindre de nouveaux désordres dans tout ce secteur, tant en rive gauche qu'en rive droite.

3 - LE CAP NOIR, PETER BOTH ET GROS MORNE DE GUEULE ROUGE (ensemble C)

Cette entité, à la fois commandée par la géologie et la morphologie a un intérêt que l'on pourrait qualifier de "stratégique" car elle offre le seul lieu de passage à la route qui relie à l'extérieur toute la population du Cirque. Si il a été jadis un rempart naturel à la pénétration des hommes, ce massif est aujourd'hui l'unique "passerelle" qui permet à près de 6 000 habitants d'être rattachés au reste de l'île. Lorsque la route est coupée, comme ce fut le cas lors du dernier cyclone "Hyacinthe", l'hélicoptère est alors le seul recours pour assurer les mesures d'urgence (1).

(1) Après le cyclone du 26-27 janvier 1948, Cilaos est resté également isolé du monde extérieur durant 3 semaines. Il a fallu, à l'époque, assurer le ravitaillement en parachutant vivres et médicaments par avion, venus de Madagascar. L'évacuation des malades ne put se faire, qu'après avoir ouvert une dangereuse liaison par les remparts du coteau Kerveguen, avec la plaine des Capres.

Ce chaînon orienté et s'abaissant régulièrement du Nord Est (1305 m au gros Morne de Gueule Rouge) au Sud Ouest (700 m vers l'îlet de cap Noir), développe ses versants d'un côté sur le Grand Bras de Cilaos et le bras de Benjoin, de l'autre sur le Petit Bras et Palmiste Rouge. Au-dessus des coulées basaltiques du substratum qui affleure dans les ravines à la base du massif, on trouve une formation très épaisse de brèches pyroclastiques diverses, plus ou moins indurées, entrecoupées de lits de tufs scoriacés, le tout dominé par les crêtes de Laves du Peter Both. Quelques reliquats de détritiques existent à différents niveaux mais ils ne constituent plus que de très petits îlets : îlet Grand, îlet du cap Noir, îlet Fougères...

3.1 - LE VERSANT OCCIDENTAL, AU-DESSUS DU BRAS DE BENJOIN

Ce versant a abrité le premier chemin qui reliait Saint Louis au village thermal de Cilaos. Ouvert à la fin du siècle dernier, ce chemin, à cause de la pente et des passages vertigineux et instables, ne pouvait être emprunté par aucune voiture. C'est ainsi que se créa une profession nouvelle à l'époque, celle de "porteurs de fauteuils". Entretenu à très grand frais, le chemin du cap Noir, avec ses tunnels et sa chaussée sans cesse exposés à des écroulements était un handicap sérieux au développement de Cilaos. Aucune perspective pour rendre carrossable ce chemin n'était envisageable et on pris l'habitude, pour éviter les dangers du cap Noir, d'utiliser un autre sentier, celui de Palmiste Rouge, sur l'autre versant. Cette situation dura jusqu'en 1935, date où la première automobile pénétra à Cilaos inaugurant ainsi la nouvelle route du versant méridional. Il ne reste plus aujourd'hui, sinon sur l'ancienne carte à 1/50 000, que quelques vestiges de ce chemin du cap Noir complètement détruit par les écroulements successifs.

Ce n'est pas par souci de l'anecdote que nous relatons ces quelques témoignages mais pour illustrer de façon magistrale la précarité des ouvrages qui ne peuvent résister à l'érosion inexorable des reliefs. Tout ce versant est en effet le siège d'une érosion intense par ravinement, chute de blocs, écroulements en masse des parois, essentiellement au-dessus du Bras de Benjoin, du confluent des Trois Bras, à l'îlet Tommy (1) en passant par la cascade du cap Noir. A la sortie nord du tunnel de Gueule Rouge, la route a été par exemple coupée lors du dernier cyclone de janvier 1980.

3.2 - LE VERSANT ORIENTAL AU-DESSUS DE PETIT BRAS ET PALMISTE ROUGE

Abandonnant ainsi le trajet par le cap Noir, la nouvelle route de Cilaos ouverte vers 1935 emprunte donc ce versant et fut considérée à l'époque comme une très grande réalisation. Elle épouse dans les moindres détails, par de multiples lacets, les très nombreuses ravines qu'elle doit franchir pour se hisser de Pavillon (393 m) au tunnel de Peter Both (956 m). Elle est donc exposée localement, au moment des pluies, à des coulées et des laves torrentielles qui ne sont pas très importantes étant donné la faible extension des niches d'érosion à l'amont et la présence de végétation qui limitent le ruissellement et le ravinement. Dans l'ensemble, cette portion de versant est relativement

(1) Sur la carte IGN à 1/50 000, l'îlet Tommy est mal positionné et on doit donc se référer aux minutes IGN à 1/25 000.

fixée mais il est absolument nécessaire de protéger la végétation et si besoin de la développer, tant au niveau de l'engazonnement des talus que du boisement des versants.

Du tunnel de Peter Both (qui a dû être creusé lorsque la route s'est écroulée et fut définitivement coupée lors du cyclone de 1948) au tunnel de Gueule Rouge, la route passe en corniche au-dessus de l'îlet Palmiste Rouge. D'importants travaux ont dû être réalisés pour la protéger des chutes de pierres et de blocs descendant d'un vaste cône d'éboulis en provenance du gros morne de Gueule Rouge (1305 m). En montant vers le tunnel, de très gros blocs apparemment stables parsèment le versant dominant les lacets de la route.

En résumé, vu dans son ensemble, ce versant méridional ne présente pas une érosion très active car les pentes ont atteint un certain profil d'équilibre lié non seulement au niveau de base des ravines mais aussi à la qualité des matériaux relativement consolidés. En revanche, lorsque l'on envisage le versant à l'échelle de la route, c'est-à-dire de l'hectomètre, les phénomènes locaux d'érosion par ravinement, éboulement... peuvent présenter de réels dangers et menacer la viabilité de la route.

4 - LES FONDS DE VALLEES

Connue dans le cirque de Salazie, leur évolution est liée essentiellement au caractère torrentiel des cours d'eau. Deux grands axes de drainage, respectivement occupés par le bras de Benjoin d'une part, le bras Rouge d'autre part, traversent du Nord au Sud, l'ensemble du cirque de Cilaos, tous deux prenant naissance sur les pentes des Salazes et du piton des Neiges. Moins importants, les torrents de bras de Saint Paul à l'Ouest, de Petit Bras et ravine des Calumets à l'Est complètent ce réseau.

4.1 - LA RAVINE DE BRAS ROUGE est caractérisée par un tracé très sinueux avec une succession de gorges et de cascades qui correspondent toujours à l'affleurement de roches dures. Le dyke de syénite de la chapelle forme ainsi un gigantesque barrage et la ravine l'a entaillé formant un couloir large de 3 à 5 m et profond de près de 100 m. Plus à l'amont, un puissant dyke de gabbro sert de seuil à une nouvelle cascade d'environ 80 m. A chaque gorge ou à chaque cascade correspond à l'amont un niveau d'érosion qui n'évolue que très lentement, le cours d'eau n'ayant plus la possibilité de creuser. Il se crée ainsi des élargissements de la vallée et des petites zones d'alluvionnement comme vers l'îlet du Camp de Pucés. Elles peuvent être beaucoup plus importantes comme par exemple la zone d'atterrissement des Trois Bras à l'amont du Grand Serré (1),

(1) Ces gorges furent le témoin d'un vaste écroulement. Dans "l'Album de La Réunion", tome III, 1865, on peut lire (p. 158-159) : "En 1848 et 1849, des éboulis considérables vinrent former barrage dans le Grand Serré, les eaux des Trois Bras s'y accumulèrent comme dans un bassin tandis qu'au-dessous, on voyait la rivière Saint Etienne se tarir presque complètement, laissant à sec les nombreux poissons qui la peuplaient. En 1849 surtout, les eaux s'élevèrent à la hauteur prodigieuse de plus de 100 m, le barrage formé le 24 janvier ne fut détruit que le 11 février suivant par la violence du torrent impétueux qui rompit cette digue naturelle et courut à la mer, ravageant et engloutissant les îlettes inférieures dont une grande partie des terres fut emportée".

nom donné aux profondes gorges du Grand Bras de Cilaos. Lors du cyclone Hyacinthe (janvier 1980), l'alluvionnement a été tel que des blocs de 5 à 6 m de haut ont pratiquement disparus sous les dépôts torrentiels, en face le parc à Denne-mont.

4.2 - LE BRAS DE SAINT PAUL présente également quelques seuils d'érosion et des gorges au niveau de l'îlet à Pères. L'éventualité d'un grand écroulement du rempart à ce niveau (Chapitre II : Ecroulement rocheux) crée une menace indirecte par suite de l'embacle qui en résulterait ; inondation à l'amont mais surtout crainte d'une rupture brutale du barrage avec ses graves conséquences dans tout le lit aval du cours d'eau.

4.3 - LE BRAS DE BENJOIN est aussi le témoin de nombreux écroulements qui périodiquement barrent temporairement la ravine. Le volume des matériaux n'étant pas très élevé, ils ne perturbent pas durablement son cours. Un des affluents pourtant, la ravine de Bras Sec a dû se réouvrir un passage à travers l'éboulement et le glissement de la route de Bras Sec. La cascade du cap Noir forme un seuil d'érosion que stabilise le profil amont du bras de Benjoin mais n'évite cependant pas l'attaque des méandres, à chaque crue importante de la ravine.

En résumé, la menace qui pèse sur ces fonds de vallées est essentiellement liée aux inondations provoquées par des écroulements de plus ou moins grandes importances barrant le cours d'eau, mais aussi aux débâcles soudaines qui peuvent entraîner de très lourds dégâts très loin à l'aval.

5 - L'ENTREE DU CIRQUE (fig. 23)

Pour accéder au cirque de Cilaos, la route emprunte la seule voie possible qui est celle des gorges du bras de Cilaos, de la rivière Saint Louis au Sud, à Pavillon au Nord au pied des premières rampes qui montent vers Peter Both.

Cette route reste continuellement en rive gauche de la rivière contrairement au tracé antérieur qui desservait l'une ou l'autre rive. Comme partout dans l'île, c'est à la suite du cyclone de 1948 qu'elle fut gravement et irrémédiablement endommagée et qu'il fallut envisager un nouveau tracé : celui que l'on connaît actuellement. Evitant à la fois le franchissement du bras de Cilaos par des ouvrages d'assises souvent vulnérables et l'emprise d'une chaussée sur des terrasses récentes facilement érodables, la route actuelle du bras de Cilaos s'appuie soit directement sur les coulées et les brèches basaltiques de base, soit sur des matériaux torrentiels, vestiges d'anciennes terrasses fluviales relativement stables.

Cette distinction de matériaux commande la viabilité de la route qui est satisfaisante dans son ensemble mais qui dépend essentiellement soit de la bonne tenue des falaises, soit de la résistance des berges à l'érosion fluviale. Du Sud (rivière Saint Louis) vers le Nord (Pavillon), on passera en revue plusieurs secteurs.



Figure 23 - Entrée du cirque de Cilaos. Extrait de la carte topographique IGN du Département de la Réunion (1/50 000).
Feuille 3 - Saint Pierre

5.1 - JUSQU'A LA PASSERELLE DE L'ILET ROND, la route s'appuie sur des versants boisés, constitués de brèches et de coulées de basalte. L'assise est solide et les barres de basalte peuvent fournir quelques blocs, lorsque celles-ci dominent la route. Le maintien de la végétation, en freinant ou en bloquant la chute de certains blocs, est une protection qu'il faut maintenir.

L'ancienne route qui empruntait la rive gauche et qui cheminait en bordure des terrasses récentes a été complètement détruite en 1948, la rivière en crue ayant sapé les berges et emporté les terres.

5.2 - L'ILET ROND, relié à la route par une passerelle en fer bien ancrée sur les deux rives, est tout au moins dans sa partie habitée à l'abri de toute crue du bras de Cilaos tandis que ses niveaux les plus bas, parfois occupés par des cultures, le sont beaucoup moins. Dans l'hypothèse d'un grand éboulement en amont de Pavillon (5.4), il faudrait bien sûr étudier, en fonction de la retenue d'eau provoquée et de son volume (exemple du Grand Serré en 1848-49), les risques de submersion de l'îlet par suite de la rupture soudaine du barrage.

En face l'îlet, la route est taillée dans la falaise. Elle est de ce fait exposée à des chutes de pierres et de blocs, d'autant qu'au sommet, quelques secteurs dépourvus de toute végétation présentent des parois à vifs.

5.3 - APRES LA TRAVERSEE SANS PROBLEMES DE L'ILET FURCY, la route atteint les gorges, au pied des premiers lacets vers Petit Serre. Le méandre où sont placés les cubes de béton a été à juste titre protégé car à la longue, par l'attaque incessante des eaux de crue, la route risquait d'être sapée et endommagée. Il convient de maintenir en état ou d'améliorer cette protection.

La falaise de brèche et de coulées basaltiques de quelques centaines de mètres de haut, qui abrite à sa base la route, témoigne, par sa verticalité, de la bonne tenue des parois hormis les chutes de pierres et de petits blocs, toujours possibles. Ainsi à une centaine de mètres de haut, au sommet d'une rive herbeuse, quelques bancs rocheux présentent des cicatrices suspectes, productives de petits éboulis vifs qui peuvent atteindre périodiquement la chaussée, lors des gros orages.

5.4 - DU PETIT SERRE A PAVILLON, la route traverse à plusieurs reprises des formations grossières à galets et cailloutis, dans une matrice sablo-argileuse, qui sont d'anciens niveaux de terrasses fluviatiles correspondant à un ancien tracé du bras de Cilaos. Ainsi le talus de la route les recoupe à plusieurs endroits : sous la croix, en montant à Petit Serré ; immédiatement à la sortie du village, dans le grand arrachement du tournant de la route ; dans le lacet qui monte vers le cap Rouge et enfin après le tunnel du Pavillon en descendant vers Pavillon. La route passe également au pied d'une haute falaise, en face l'îlet Augustin ; là aussi des risques de chutes de pierres et de blocs existent malgré une bonne tenue d'ensemble des parois.

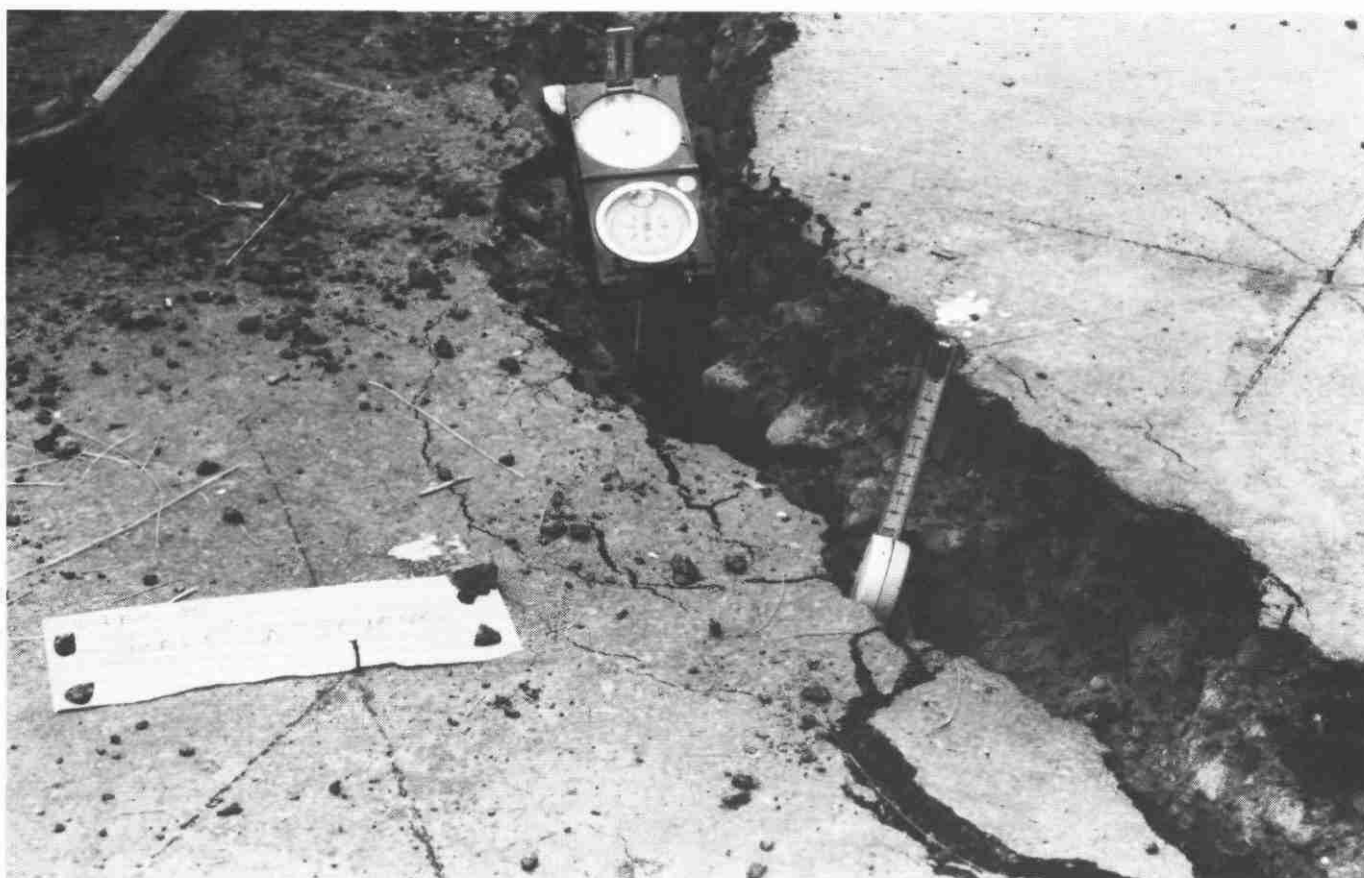
Les talus ouverts dans les formations grossières sont stables mais à chaque orage ou pluie forte, des galets et cailloutis de toute taille se détachent et roulent sur la chaussée. Des purges manuelles pourraient être opérées périodiquement pour mieux contrôler cette projection de pierres sur la chaussée.

Deux exceptions cependant à la bonne stabilité d'ensemble de ces talus : la première est l'arrachement du Petit Serré lié à la présence d'eau dans ce talus ; la deuxième est l'érosion de l'arête qui supporte la route à la sortie du tunnel, au-dessus de l'îlet Palmiste. Pour cette dernière, il faut à tout prix maintenir la végétation sur les versants de cette arête et contrôler l'érosion de la ravine à sa base, érosion qui pourrait à la longue compromettre gravement l'emprise de la route. Cette arête constitue en effet un passage impératif qu'il faut maintenir en état.

En définitive, le tracé de la route du bras de Cilaos ne présente pas de risque de coupure importante à condition de ne pas laisser réapparaître deux processus d'érosion qui localement (méandre aux cubes de béton, arête du tunnel au-dessus de Pavillon) pourrait à l'avenir menacer la viabilité de la route.

CHAPITRE V

RECOMMANDATIONS ET MESURES DE SAUVEGARDE



Ouverture d'une fissure dans la chaussée de Mare-à-Goyaves
(Février 1980)

Ce chapitre présente les principales recommandations pour la protection et la prévention des biens et des aménagements locaux dans les cirques. Ces recommandations relèvent souvent du bon sens ; elles sont proposées dans la mesure où de nombreuses anomalies ont été relevées sur le terrain propre à accélérer l'érosion ou le ravinement liés à l'action des eaux superficielles et souterraines vis-à-vis :

- des habitations et des aménagements collectifs
- des terres cultivées et des forêts
- des infrastructures.

Ces recommandations, plus pragmatiques que théoriques, souhaitent apporter un début de réponse aux questions qui nous sont souvent posées par des particuliers, des agents de communes.

1 - MESURES DE SAUVEGARDE A PRENDRE EN LIAISON AVEC L'ACTIVITE DE L'EAU SUPERFICIELLE

Les phénomènes liés à l'action de l'eau superficielle dans les cirques (érosion, ruissellement, ravinement, alluvionnement, inondations...) ont été décrits en détail dans le chapitre II.2.

1.1 - VIS-A-VIS DES HABITATIONS ET DES AMENAGEMENTS COLLECTIFS

- . Risques :
 - affouillement (fig. 24)
 - inondation (dans les dépressions naturelles, par débordement des ravines et des mares)
 - chutes de blocs (fig. 25)
 - lave torrentielle.
- . Exemples :
 - Cirque de Cilaos : affouillement des fondations de murs et de bâtiments dans le fossé d'écoulement du trop plein du trou Pilon.
 - Cirque de Salazie : inondations par le bras des Demoiselles à Mare à Poule d'eau au niveau du téléphérique.

. Recommandations

Pour les constructions neuves, vis-à-vis des affouillements des fondations, il faut garder un espace entre le bâtiment et les caniveaux ou fossés d'écoulement. Dans le cas de caniveaux affouillés, il convient de les remblayer par des blocs et des galets éventuellement liés par un mortier.

Vis-à-vis des risques d'inondation, en l'absence de travaux de protection spécifiques, dans les zones à haut risque, les habitations seront évacuées au moins pendant des périodes de forte pluviosité.

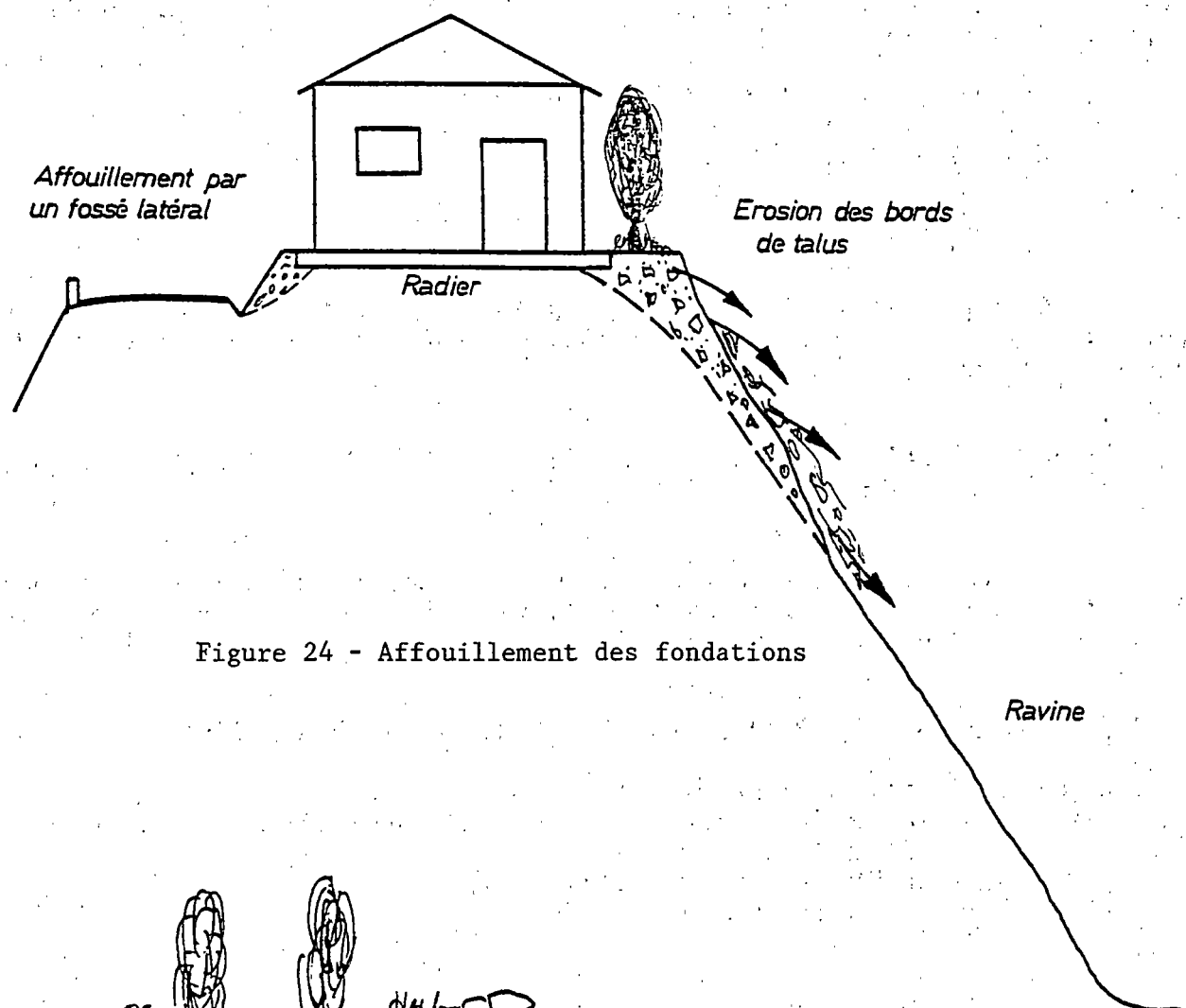


Figure 24 - Affouillement des fondations

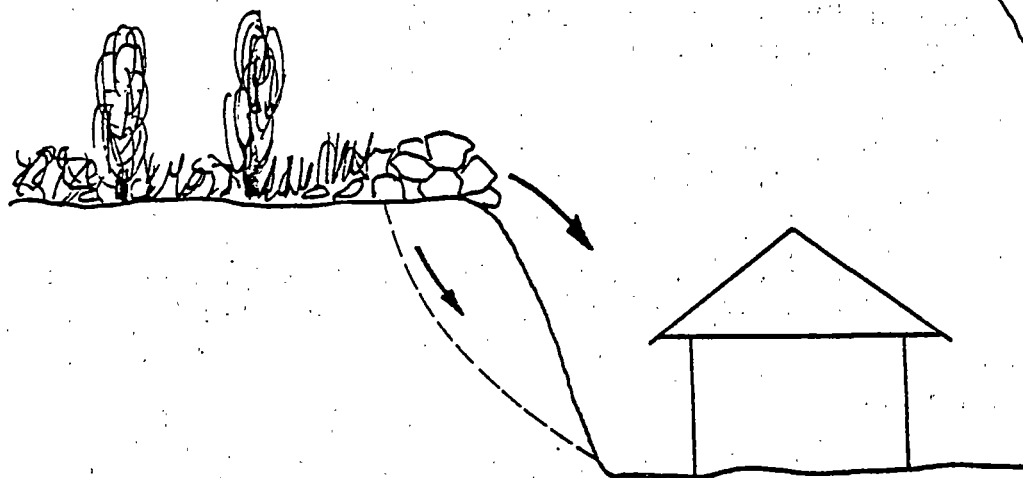


Figure 25 - Risque de glissement de terrain et de chute de blocs

Au niveau des plans d'occupation des sols, les zones inondables devront être inventoriées afin de les placer en zone non aedificandi.

Les risques d'inondations sont à considérer tout particulièrement pour les projets d'aménagements collectifs, d'établissements hôteliers, de terrains de loisirs..

Vis-à-vis des risques de chute de blocs, il serait souhaitable que les agriculteurs évitent de rassembler - résultat de la pratique du bulldozer - les blocs de pierre des champs près des abornements surplombant les habitations ou les routes.

1.2 - VIS-A-VIS DES SURFACES AGRICOLES

- . Risques : - Erosion superficielle des terres dénudées, par le ravinement diffus ou concentré. En forêt l'action érosive est limitée au ravinement.
- . Exemple : - Cirque de Cilaos. A îlet Dijoux (sur la route de Cilaos à îlet à Cordes) plusieurs ares de terrain ont été mobilisés et entraînés par un surplus de ruissellement provenant de la route.

Dans la plantation ONF de Cryptomerias de la forêt de Mare à Joseph, ont été creusées de profondes rigoles.

. Recommandations

La lutte antiérosive au niveau des terres de cultures sera menée soit de façon à concentrer le ruissellement dans des zones de roches dures insensibles à l'érosion, soit en dispersant systématiquement le ruissellement de façon à réduire la lame d'eau ruisselée et en permettant l'infiltration sur de plus grandes surfaces. Indirectement, l'impact de l'érosion sur les terres sera réduit en améliorant la cohésion de celles-ci, ce qui les rend moins sensibles.

Pour ce faire, chaque agriculteur organisera ses cultures de façon à détourner les eaux de ruissellement venant de l'amont vers des axes de drainage insensibles à l'érosion, lorsque cela est possible, sans pour autant reporter le problème de l'érosion plus en aval. Le procédé des cultures en terrasses permet une meilleure dispersion du ruissellement en augmentant l'infiltration et réduisant la pente sur chaque niveau cultivé. Dans les cirques, ce procédé a ainsi l'avantage de freiner l'érosion superficielle, les terrasses étant soutenues, soit par des murets de pierre, soit par des rangées parallèles de plants de vétiver ou de canne fourragère. Un soin tout particulier doit être apporté à l'entretien des terres au moment des fortes pluies de façon à intervenir immédiatement pour combler les rigoles d'érosion formées sur les terrains.

Nous avons observé la formation de rigoles profondes (1,5 m) sur le sol de la plantation de filaos au Nord-Est de Cilaos. Le fait le plus marquant dans ce cas, est la très bonne résistance des terres plantées vis-à-vis de l'érosion superficielle, qui n'est parvenue au cours du cyclone "Hyacinthe", qu'à creuser quelques rigoles alors qu'un terrain nu aurait probablement été complètement érodé. Cet exemple est suffisant pour démontrer l'efficacité du couvert végétal pour protéger les terres de l'érosion superficielle. En effet, les racines augmentent la cohésion du sol en formant une armature.

Par conséquent, nous recommandons d'augmenter autant que possible le couvert végétal arbustif, les plantations de vétiver ou de canne fourragère en guise d'abornement. Les terres sensibles devraient recevoir des cultures de plantes persistantes d'arbustes ou d'arbres capables de fixer durablement et profondément le sol.

1.3 - VIS-A-VIS DES INFRASTRUCTURES (voies de communication, canalisations, pylônes...)

- . Risques : - Les ouvrages ponctuels tels que les pylônes sont peu sensibles aux effets de l'érosion superficielle. Seule leur fondation risque d'être affouillée, mais il est facile de les en protéger.

De même les canalisations d'eau ne seront affectées par l'érosion qu'au niveau des fondations des ouvrages de support. Par contre, les routes des cirques sont particulièrement soumises à l'érosion, à l'alluvionnement, aux inondations en fond de vallée et aux chutes de blocs.

- . Exemples : - Cirque de Cilaos - la route de Cilaos à îlet à Cordes, construite en terrain rocheux altéré a été érodée à la traversée de chaque ravine.
- Cirque de Salazie - la chaussée de la route en béton de Mare à Martin a été affouillée.

. Recommandations

S'il est facile d'éviter l'action érosive du ruissellement sur les ouvrages ponctuels, soit du fait de leur implantation, soit en aménageant un drainage autour des fondations, il n'en est pas de même pour les ouvrages linéaires comme les routes qui sont soumises à de très nombreuses contraintes de tracé (points de passage obligé, pentes...).

. Franchissement des ravines par les ponts (fig. 26)

Lorsque les fondations du pont sont affouillées, elles seront consolidées par une reprise en sous-oeuvre avec éventuellement un aménagement par barrage de gabions dans la vallée qui a pour but de créer un remblaiement naturel entre le barrage et l'ouvrage, ce qui en diminuant la pente, réduira l'affouillement de la fondation.

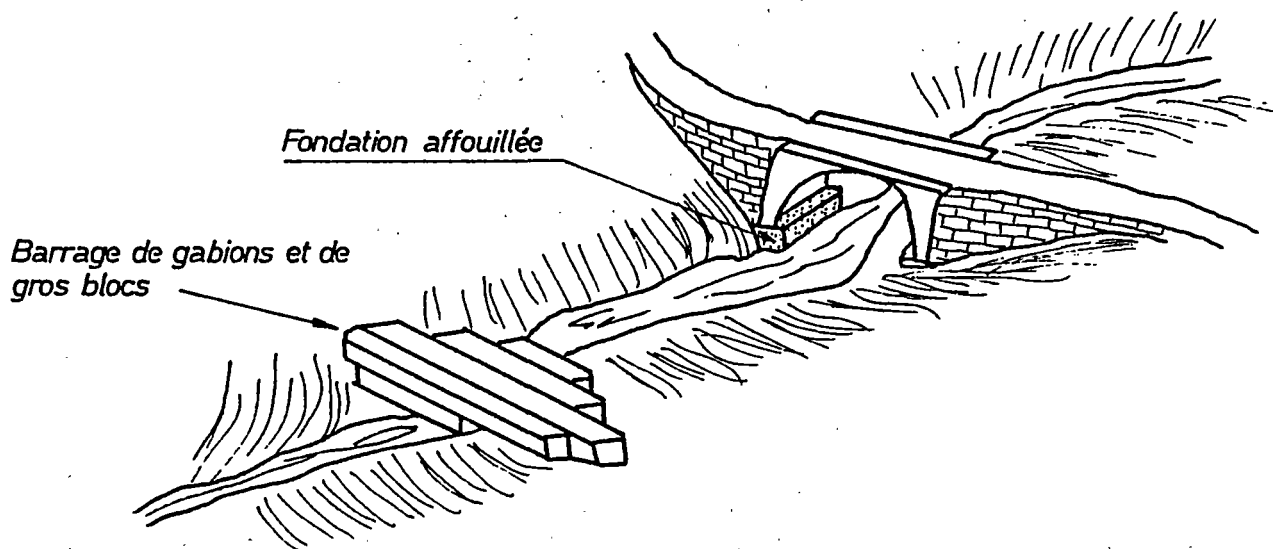


Figure 26 - Fondation du pont franchissant la ravine Grosse Roche entre Mare à Citron et Mare à Goyaves

- . Franchissement des ravines (sèches la plupart du temps) par des ouvrages remblayés avec aqueduc formé par une buse

La buse doit être dimensionnée de façon à écouler les débits des "pluies normales" et de taille suffisante pour être curée facilement au besoin ($\varnothing$ 0,50 m). La prise en compte des débits comme ceux écoulés pendant la période cyclonique de 1980 n'est pas possible pour calculer les ouvrages hydrauliques. Il faut donc admettre leur submersion temporaire et les aménager en conséquence.

Les figures 27 et 28 présentent des aménagements spécifiques, permettant d'écouler des débits supérieurs au débit spécifique de l'aqueduc.

- . Affouillement des chaussées

C'est un cas assez fréquent qui se produit, soit par érosion régressive d'une pente de ravine évoluant en "badlands" (fig. 29) consécutivement à un déboisement parfois accentué par une source, soit par ravinement de la fondation de la chaussée provoqué par les eaux d'un fossé latéral trop étroit pour évacuer les forts débits ou obturé par un petit éboulement du talus amont.

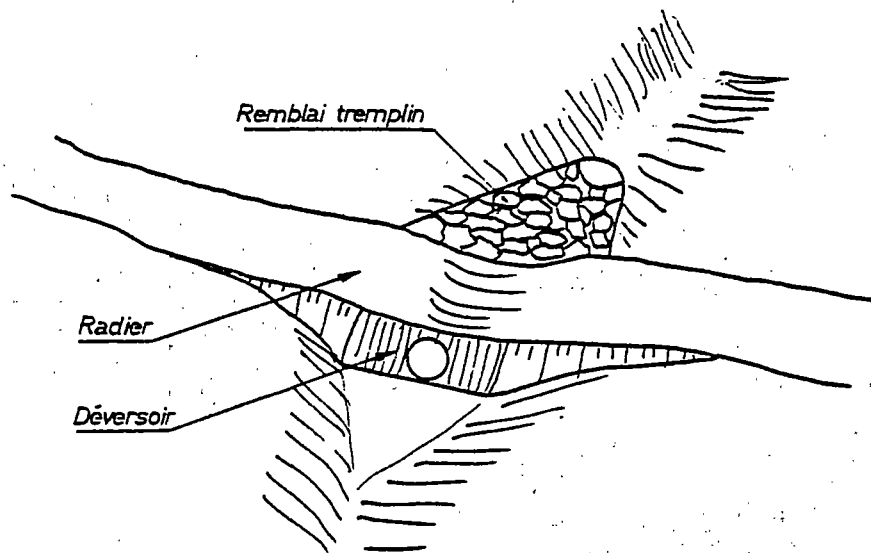


Figure 27 - Franchissement d'une ravine avec un faible dévers aval

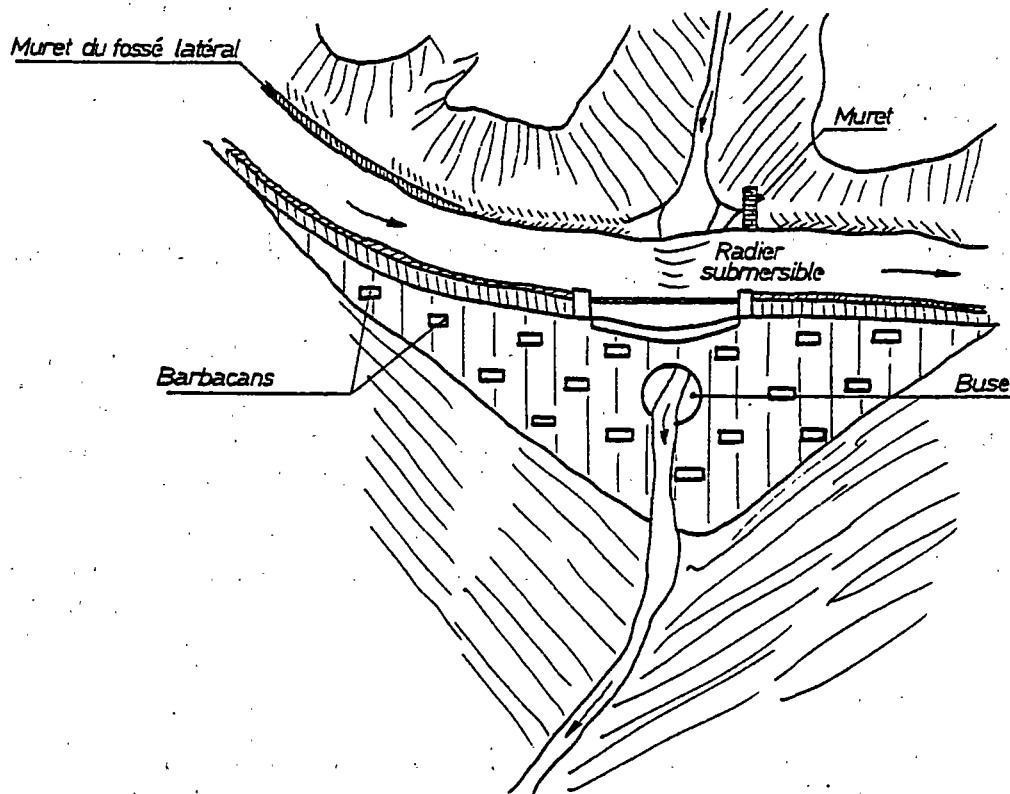


Figure 28 - Franchissement d'une ravine avec un fort dévers aval. Profil de route mixte (déblai-remblai) avec mur de soutènement, aqueduc, rigole de drainage amont, radier submersible. Si la hauteur du dévers ne permet pas de créer un déversoir, le mur de soutènement sera fondé très profondément. Le gabionage de la vallée à l'amont du pont est inutile car lorsque le barrage formé est plein de blocs, il ne joue plus aucun rôle

. Assainissement des routes

Sur les routes revêtues à devers amont, le fossé latéral canalise les eaux provenant du ruissellement à la fois sur le versant et sur la chaussée imperméable. Lors des épisodes pluvieux exceptionnels, un grand nombre de méfaits d'érosion sont imputables à la concentration artificielle du ruissellement causé par la route et à l'accélération qui en découle. Cette concentration et cette accélération sont liées au degré de la pente et à la longueur de la pente. Ces notions d'hydraulique permettent de saisir l'inconvénient d'un assainissement réalisé pour une route à pente forte et continue, au moyen d'un dispositif espacé de gros aqueducs, et l'avantage de la multiplication et du rapprochement de petits ouvrages qui évacue rapidement l'eau.

Dans le fossé latéral à la chaussée, creusé au pied amont du talus de déblai et en pente de 5 à 10 % coulant à plein bord, la vitesse d'écoulement atteint vite 2 m/s et plus, affouillant dangereusement le pied du talus qui s'écroule. On peut s'affranchir de ce risque par un pavage du fossé, calé d'une part contre une murette de soutien du pied de talus, et d'autre part contre l'épaisseur empierrée ou compactée de la chaussée dont la surface s'y raccorde sans ressaut (fig. 30).

Comme nous l'avons vu à propos des terres agricoles, suivant le terrain rencontré, il peut être avantageux, soit de concentrer le ruissellement vers des points de rejets non affouillables dans des roches dures, soit au contraire de le disperser afin de réduire au maximum le tirant d'eau ruisselée. La dispersion maximale du ruissellement capté et rassemblé par la route à flanc de versant est obtenue par des chaussées revêtues, sans fossé latéral ni bombement, très planes transversalement et en léger devers aval. Mais la dispersion idéale réalisée par une telle route est rapidement oblitérée par des concentrations de l'eau aux points d'affaiblissement du profil en long du rebord aval de la chaussée, soit à la corde des courbes concaves au franchissement des ravines, soit au contraire à la tangente extérieure d'un virage en lacets à pente atténuée.

Si l'éparpillement des déversements d'eau ruisselée à l'aval de la route est une bonne chose, il convient donc toujours de diriger ces déversements, soit en les rassemblant sur les zones rocheuses, soit en les orientant vers des ravines bien aménagées pour les recevoir et non affouillables.

. L'alluvionnement des fonds de vallée

Lorsqu'une vallée de torrent s'élargit et que sa pente diminue, le torrent dépose une partie des alluvions qu'il transporte. Ce phénomène s'est produit dans la rivière des Fleurs Jaunes à Roche-Plate, là où la route de Grand Ilet traverse la vallée. Cette route s'est trouvée ensevelie sous plusieurs mètres d'alluvions. Aucune mesure de prévention ne peut être prise contre un tel désordre. Les projets routiers dans ces cas doivent être dimensionnés de façon à résister à l'érosion pendant les saisons pluvieuses normales, sans surdimensionnement coûteux, car ces ouvrages seront détruits lorsque des conditions climatiques identiques à celles de février 1980 se reproduiront.

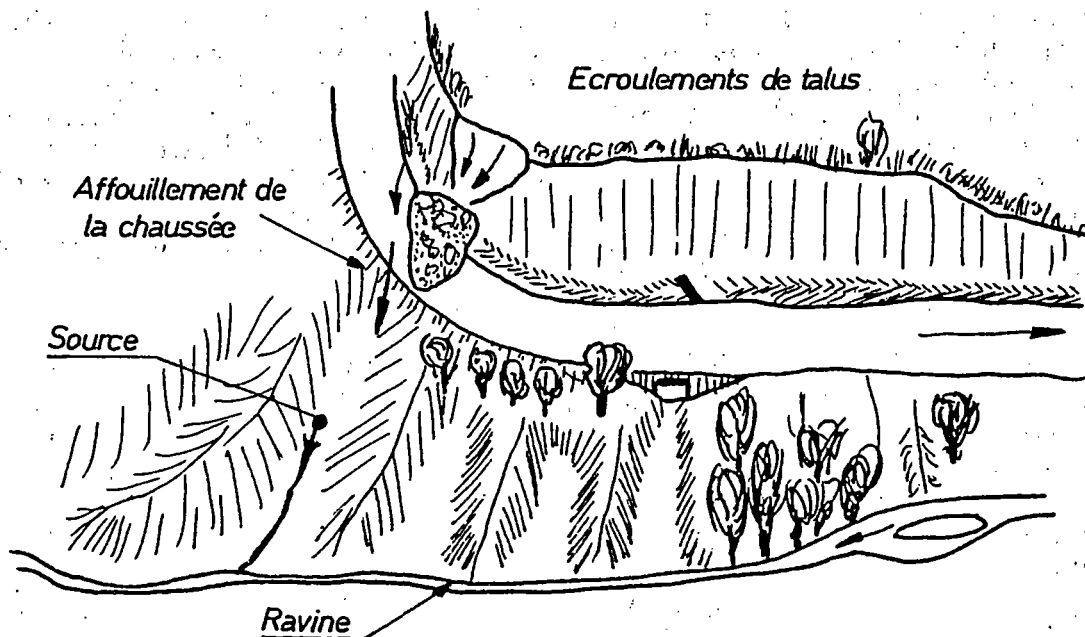


Figure 29 - Evolution des zones à ravinement concentré. La progression des bad-lands doit être freinée par une remise en végétation systématique

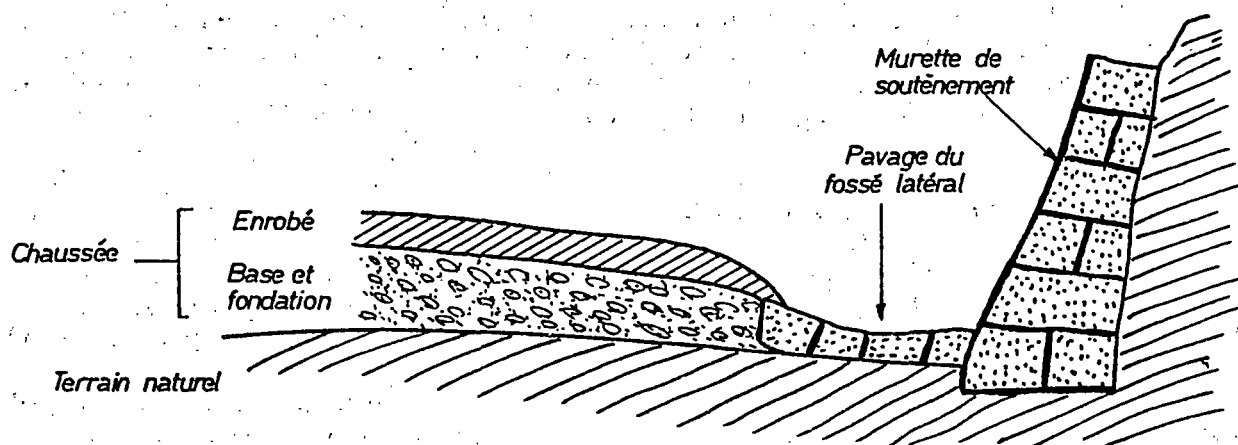


Figure 30 - Fossé latéral protégé de l'affouillement par un pavage

Les ouvrages de franchissement de la vallée alluvionnée seront fondés profondément afin de résister à l'affouillement, car une période de lente érosion va succéder à l'alluvionnement brutal de 1980.

. Chute de blocs

Fréquemment des blocs en équilibre au-dessus des routes sont destabilisés par l'érosion superficielle et roulent sur la chaussée. Ce phénomène est inexorable dans les cirques, mais ne devrait pas être accentué par accumulation des blocs rocheux de dépierrage des champs sur les rebords des îlets.

2 - MESURES DE SAUVEGARDE A PRENDRE EN LIAISON AVEC LES MOUVEMENTS DE TERRAIN ET L'ACTION DE L'EAU SOUTERRAINE

L'eau souterraine affecte la stabilité des terres de plusieurs façons :

- en entraînant les matériaux fins lorsque les vitesses de circulation sont élevées, elle crée des vides qui se combleront petit à petit par effondrement du toit,

- en réduisant les propriétés mécaniques du sol qu'elle imbibe, elle diminue la cohésion des sols,

- en exerçant sur le sol une poussée qui réduit le poids des terres.

Ces trois types d'actions affectent simultanément les terrains aquifères : suivant que l'une ou l'autre domine, on observe des désordres particuliers.

Lorsque l'eau circule à grande vitesse dans les chenaux privilégiés, il se forme des cavités souterraines par entraînement des particules de terrain les plus fines. Ces cavités, par effondrement brutal ou lent de leur voûte, provoquent à la surface du sol des dépressions. On connaît les manifestations de ce phénomène à Grand Ilet et à Mare à Citrons.

Des terrains secs et fortement pentés doivent leur stabilité, pour partie, à la cohésion du sol.

Si d'abondantes précipitations provoquent une imbibition générale du sol, sa cohésion se trouve diminuée, et de ce fait, la stabilité de la pente diminue. Ceci peut conduire à des glissements de terrain, comme ceux qui se sont produits en amont de Mare à Poule d'Eau. Dans ce cas et dans la plupart des cas, la rupture d'un terrain en pente est provoquée également par la poussée de l'eau qui imbibe le sol.. L'éboulement de terrain à mare sèche qui a emporté une partie de la route de Cilaos a été provoqué par une suppression de l'eau dans un talus quasi vertical sur plusieurs dizaines de mètres de hauteur et dont la cohésion a été réduite par imbibition.

2.1 - VIS-A-VIS DES HABITATIONS

- . Risques directs :
 - Ruine de l'édifice par la mise en mouvement du sol de fondation.
 - Désordres plus ou moins importants dus à des tassements ou à des effondrements du sol.
- . Risques indirects :
 - Ruine ou désordre dans l'édifice lorsque celui-ci se trouve sur le trajet des matériaux en mouvement.
- . Exemples :
 - Les éboulements qui se sont produits à Palmiste Rouge, en février 1980 menacent directement les habitations se trouvant à proximité de la ravine.
 - L'ancienne église de Grand Ilet a été endommagée par un effondrement du sol au niveau du parvis.
 - Le village de Grand Sable fut détruit au siècle dernier sous les matériaux d'un grand éboulement dont la zone d'arrachement se situait en amont du village.

2.2 - VIS-A-VIS DES SURFACES AGRICOLES ET DES INFRASTRUCTURES

Tout mouvement de terrain survenant directement ou indirectement sur les terres agricoles conduit généralement à la perte de surfaces cultivées.

Les exemples de mouvements de terrain conduisant à la perte de surfaces agricoles sont nombreux dans les cirques, citons seulement les plus importants. Dans le cirque de Cilaos à Mare Sèche et à Palmiste Rouge, et dans le cirque de Salazie à Grand Ilet et Mare à Poule d'Eau.

- . Recommandations : Elles peuvent présenter deux aspects :

- Le premier concerne l'observation et la compréhension du milieu et des phénomènes régionaux. Les zones reconnues vulnérables et largement urbanisées devraient être l'objet d'une surveillance périodique par un personnel compétent en matière de mouvements de terrain de façon à connaître et à analyser tous les événements qui s'y produisent (ouvertures de fissures, chutes de blocs, glissement de terrain, effondrements, inondations, modification brutale du débit d'une source, apparition de nouvelles sources...).

Cette action aurait pour but de suivre l'évolution de tel ou tel secteur et par là de proposer en temps utile des solutions aux problèmes d'érosion.

Ces observations seront multipliées en période de fortes pluies lorsque les mouvements de terrains sont les plus nombreux. Par cette observation attentive des secteurs menacés, et poursuivant ainsi à plus grande échelle le travail entrepris dans cette étude, on pourra intervenir utilement au niveau des schémas d'aménagement et des plans d'occupation des sols en préconisant par exemple des aménagements spécifiques dans tel ou tel secteur.

Ainsi l'instabilité générale des terres reconnues à Grand Ilet devrait être étudiée de façon plus approfondie pour connaître la structure du sous-sol ainsi que les directions des principaux écoulements des eaux de façon à proposer des solutions efficaces de confortement.

- Le second aspect de la lutte contre les mouvements de terrain devrait consister à sensibiliser la population pour qu'elle augmente autant que possible le couvert forestier ou arbustif des zones sensibles. Cette tâche entreprise par l'ONF pour les terrains domaniaux devrait être poursuivie avec bénéfice sur les terres privées non exploitées et plus particulièrement sur les pentes. Dans tous les cas, la végétation participe à la stabilité du sol, c'est pourquoi il ne faut pas négliger ce moyen facile et efficace de confortement.

Il faudrait également sensibiliser les aménageurs sur le fait que les cirques de la Réunion représentent des régions dans lesquelles les modèles d'infrastructures métropolitaines s'intègrent mal, et de ce fait, rechercher davantage des solutions adaptées à la topographie et au climat sans vouloir à tous prix respecter des normes qui ne sont pas toujours applicables ici (donner par exemple à une route nationale un gabarit de 7 m de chaussée). Rechercher un compromis entre un confort moins grand des chaussées (étroites et à forte pente) et la difficulté à maintenir en service des routes souvent détruites par des glissements de terrain serait certainement un objectif à atteindre pour réduire les coûts d'entretien des infrastructures.

CONCLUSIONS

Sans négliger le caractère inéluctable de l'érosion dans les cirques et l'apparition d'événements de type exceptionnel liés aux "crises climatiques", un certain nombre de recommandations ont pu être formulées pour la sauvegarde des habitations, des aménagements collectifs, des infrastructures et des terres cultivées. Si quelques-unes d'entre-elles peuvent paraître relever du "bon sens" et ne figurer que pour mémoire, d'autres méritent une certaine attention car elles orientent les mesures spécifiques à prendre au niveau des plans d'occupation des sols et de l'aménagement au sens large du terme (voie de communication, drainage, irrigation, développement agricole...).

Certes, ces mesures et recommandations ne relèvent pas de grands projets spectaculaires et coûteux, qui n'auraient pas de sens dans le contexte géographique tel qu'il a été développé tout au long de ce rapport. En revanche, il faut insister sur un des points importants qui ressort de notre étude : c'est celui du maintien de la population rurale dans les Hauts, de sa sensibilisation à la nécessité d'effectuer des menus travaux d'entretien (déblaiement d'un fossé, colmatage d'une ravine, réparation d'une chaussée...) retardant ou contrôlant l'érosion à l'échelle du cadastre. C'est aussi le souci de conserver au maximum le couvert végétal actuel, en le développant si les terrains le permettent.

Livré à l'exode rural, certain territoire montagnard de la métropole n'offre plus aucune résistance face à l'érosion qui s'installe sur les versants en friches, dans les ravines obturées par des éboulements, dans les prairies livrées à un écoulement sauvage... A la Réunion, on souhaite au contraire développer, ou tout au moins fixer la population dans les cirques et ainsi éviter de laisser les terres encore utilisables à l'abandon. Dans cette perspective, les "cirques jardins" peuvent répondre en partie au souci de prévention et de protection recherché par tous.

*

*

*

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Album de l'île de la Réunion.- Saint Denis (île de la Réunion), Impr. A. Roussin, 4 vol., 1860-1865.
- AUBERT de LA RÛE (E.).- Une excursion géologique à la Réunion et à l'île Maurice.- Rev. géogr. phys. géol.dyn., vol. 4, n° 3, 1931, p. 201-221.
- BILLARD (G.).- Carte géologique de la France : la Réunion, échelle 1/50 000, en quatre feuilles.- Paris : BRGM, 1974.
- BUSSIÈRE (P.).- Carte géologique du département de la Réunion à l'échelle du 1/100 000.- Paris : service de la carte géologique de la France, 1967.
- La Catastrophe du piton du Grand Sable à l'île de la Réunion/Rapport de la commission de l'île de la Réunion et opinions du Dr VINSON et de M. SAINTE-CLAIRE DEVILLE.- L'Année scientifique et industrielle, 1877, p. 258-266.
- CHAMALAUN (F.H.).- Paleomagnetism of Reunion Island and its bearing on secular variation.- J. Geophys. Res., vol. 73, 1968, p. 4647-4659.
- CHAMALAUN (F.H.), Mac DOUGALL (I.).- Data geomagnetic polarity epochs in Reunion.- Nature, n° 210, 1966, p. 1212-1214.
- CHEVALLIER (L.).- Structures et évolution du volcan piton des Neiges, île de la Réunion. Leurs relations avec les structures du bassin des Mascareignes, océan Indien occidental.- Thèse, 3ème cycle, Grenoble, 1979.
- CORDEMOY (J. de).- Rapport de la commission chargée d'étudier les causes de la catastrophe du Grand Sable à Salazie.- 1876.
- DEFOS DU RAU (J.).- Un cirque des Hauts de la Réunion : Cilaos.- Les Cahiers d'Outre-Mer, juil.-sept. 1956, p. 263-313.
- DEFOS DU RAU (J.).- Le relief de l'île de la Réunion, étude de morphologie volcanique.- Thèse complémentaire, Lettres, Bordeaux, 1959.
- DERRUAU (M.), KARCHE (J.P.), MOTTET (G.).- Problèmes de morphologie volcanique à l'île de la Réunion.- Madagascar, Revue de géogr., n° 17, 1970, p. 7-35.
- DUFFIELD (W.), STIELTJES (L.), VARET (J.).- Geologic and geothermal studies of "La Reunion" compared with some features of Hawaiian volcanoes.- Hawaii Symp. on Intraplate volcanism and submarine volcanism, Hilo, Hawaii, 16-22 Jul. 1979.
- FEODOROFF (A.).- Mécanisme de l'érosion par la pluie.- Rev. géogr. phys., géol. dyn., vol. 7, n° 2, 1965, p. 149-163.
- FOURNIER (F.).- Climat et érosion. La relation entre l'érosion du sol par l'eau et les précipitations atmosphériques.- Paris, Presses univ. France, 1960, 201 p.
- GALEWSKI (M.).- La corrélation entre les pluies torrentielles et l'intensité de l'érosion.- Ann. de l'Ecole nat. des eaux et forêts, t. 24, n° 2, 1955, p. 382-427.

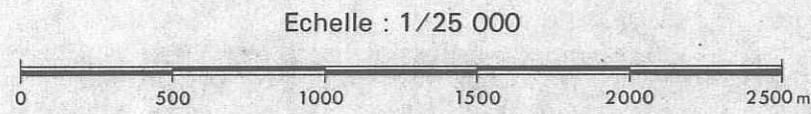
- GERARD (A.), STIELTJES (L.).- Evaluation du potentiel géothermique de l'île de la Réunion, 2ème phase exploratoire : géologie et géophysique.- Orléans : BRGM, 1979 (rapport 79 SGN 538 GTH).
- Mac DOUGALL (I.).- The geochronology and evolution of the young volcanic island of Reunion, Indian ocean.- *Geochim. Cosmochim. Acta*, vol. 34, n° 3, 1971, p. 261-288.
- Mac DOUGALL (I.), WATKINS (N.C.).- Age and duration of the Reunion geomagnetic polarity event.- *Earth and Planet Sci. Letters*, vol. 19, 1973, p. 443-452.
- MARTIN de VIVIES (P. de).- Nomenclature des cyclones ressentis à l'île de la Réunion (Bourbon) depuis 1655.- *La Météorologie*, juil.-sept. 1948, p. 229-240.
- MICHEL (A.).- Correction torrentielle des "chalades" des Pyrénées orientales. Groupe de travail de correction des torrents et de lutte contre les avalanches.- Nancy, Ecole nat. eaux et forêts, 1953, 147 p.,
- PONCET (A.).- Routes forestières et érosion en montagne.- *Rev. forest. fr.*, n° 4, 1964, p. 267-285.
- PONCET (J.).- La catastrophe climatique de l'automne 1969 en Tunisie.- *Ann. de géogr.*, 1970, p. 581-595.
- RIVALS (P.).- Histoire géologique de l'île de la Réunion.- Thèse complémentaire, Paris, 1950.
- ROBERTS (J.L.).- Réflexions sur les risques naturels.- *Nat. Ressources*, vol. 15, n° 4, 1979, p. 25-31.
- ROBERTS (D.).- Inventaire et analyse systématique des différents ensembles d'intrusions volcaniques (dykes et sills) de l'île de la Réunion : répartition, nature, extension et chronologie relative. Orléans : BRGM, 1980 (rapports 80 SGN 532 GTH et 80 REU 17).
- STIELTJES (L.).- Aspects techniques et socio-économiques des conséquences de l'érosion accélérée des terrains volcaniques de l'île de la Réunion (océan Indien).- In : Séminaire national "Gestion régionale des sédiments" Propriano (Corse) 27-29 mai 1981. Orléans : BRGM, 1981 (Documents n° 30).
- STIELTJES (L.), ROBERT (D.).- Analyse structurale de l'île de la Réunion. Implications morphologique, géologique et géothermique. Synthèse sur l'évaluation du potentiel géothermique de l'île de la Réunion.- BRGM (rapport 1981).
- TILLEY (C.E.), THOMPSON (R.N.), WADWORTH (W.J.), UPTON (B.G.J.).- Melting relations of some lavas of Reunion Island, Indian ocean.- *Mineral. Mag.*, vol. 38, 1971, p. 344-352.
- TOUCHEBOEUF de LUSIGNY (P.).- Etude de l'alimentation des nappes souterraines de l'île de la Réunion.- Paris : ORSTOM, 1950 (*Annuaire hydrologique* n° 976).

- TOUCHEBOEUF de LUSIGNY (P.).- Recherche d'eaux souterraines dans la région "Sous-le-Vent" de l'île de la Réunion.- In : VIèmes Journées de l'Hydraulique. 1960. Nancy. Question III, rapport n° 10.
- TRICART (J.).- Etudes géomorphologiques pour la maîtrise des eaux en montagne.-Bull. de la Féd. fr. d'écon. montagnarde, nouvelle série, n° 14, 1963-1964, p. 505-522.
- UPTON (B.G.J.), WADSWORTH (W.J.).- Geology of Reunion Island, Indian ocean.- Nature, vol. 207, n° 4993, 1965, p. 151-154.
- UPTON (B.G.J.), WADSWORTH (W.J.).- The basalts of Reunion Island, Indian ocean.- Bull. volc., vol. 29, 1966, p. 7-24.
- UPTON (B.G.J.), WADSWORTH (W.J.).- Aspects of magmatic evolution on Reunion Island.- Phil. Trans. Roy. Soc. London, A 271, 1972, p. 105-130.
- VELAIN (C.).- Description géologique de la presqu'île d'Aden, de l'île de la Réunion, des îles Saint Paul et Amsterdam.- Paris, typ. A. Hennuyer, 1878.
- VELAIN (C.).- Chapitre "Eboulement".- In : La Grande Encyclopédie, t. 15, p. 235-236.
- VINSON (Dr.).- Note sur une commotion souterraine au centre de l'île de la Réunion. Désastre, disparition d'un hameau de 62 personnes.- C.R. Acad. Sci. Paris, série D, t. 82, 1876, p. 149-152.
- WIDMANN (M.).- La lutte contre l'érosion pluviale en montagne et l'économie montagnarde.- Bull. de la Féd. fr. d'écon. montagnarde, nouvelle série, n° 14, 1963-1964, p. 523-536.

CIRQUE DE SALAZIE

FORMES DE L'ÉROSION RÉCENTE ET ZONAGE DES TERRAINS

Rapport B.R.G.M. n° 81 SGN 543 REU :
Les risques géologiques dans les cirques de Salazie et Cilaos



Par M. Humbert, R. Pasquet et L. Stieljes
Campagnes de terrain : Janvier-Février et Août-Septembre 1980
Dessin de la maquette : 1981
Fond topographique d'après stéréominutes I.G.N.
achevées et incomplètes

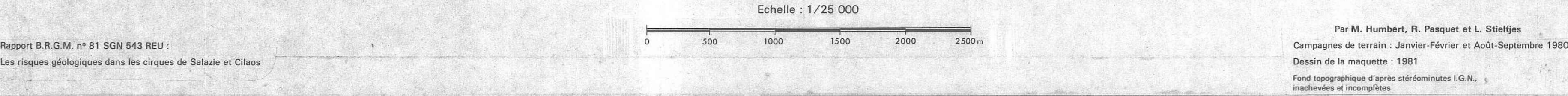


CARACTÉRISTIQUES DES ZONES
DE RISQUES

UNITES - ZONES	LOCALISATION GÉOGRAPHIQUE	EVENEMENTS MARQUANTS	TYPES DE RISQUES	RECOMMANDATIONS - MESURES PRIORITAIRES A PRENDRE
A LES REMPARTS ET LEURS BORDURES				
A1 - Bordure méridionale	Grand Plateau Rond de la rivière du Mât Terre Plate	- Quelques arrachements récents (1980). - Grand écoulement sous la crête des Salazes signalé en 1981.	- Ravinement concentré important (rigoles, "badlands"). - Risque localisés d'écroulement, en bordure des gradins. - Ecoulements de grande ampleur possibles pouvant affecter le débit de la rivière du Mât et le transport des sédiments.	- Zone déserte, aucune protection à prévoir.
A2 - Bordure occidentale	Grand Sable Le Bélier Casabois	- Ecoulement de Grand Sable (25 novembre 1875) 62 victimes, Ilet emporté, 18 millions de m³ de matériaux éboulés.	- Des versants très raides, associées à une structure de discontinuité lithologique (bêches sur intrusions basaltiques) conformes à la pente ordent, au-dessus de Grand Sable et du Bélier, des conditions identiques à celles qui ont été à l'origine de la catastrophe de Grand Sable (1875).	- Etude géologique et géotechnique approfondie des versants dominants Grand Sable et le Bélier - détail des structures et suivi de l'évolution par une surveillance périodique des zones de faiblesse (risque de grand écoulement pouvant atteindre les habitations à l'aval (voir zone B5).
A3 - Bordure septentrionale	De la Roche Ecrite au cap Picard	- Glissement - coulée qui a emporté une case, il y a une cinquantaine d'années à la Roche à Jacquot.	- Risque de glissement des éboulis et des brèches reposant sur la coulée basaltique en aval pentage, au-dessus de l'Ilet Roche à Jacquot et de la ravine Blanche. - Risque très limité d'écroulement dans les remparts (en fréquence et en ampleur).	- Au niveau de la ravine Blanche, ne pas engager des travaux (route de Mare à Martin) sans études préalables. - Etude géologique et géotechnique du secteur dominant l'Ilet de la Roche à Jacquot pour évaluer les risques de glissement.
A4 - Bordure orientale	De Salazie à Hell Bourg		- Quelques risques de chutes de blocs, à la base de la coulée basaltique prismatique, à l'entrée de Salazie. - Risque très limité d'écroulement dans les remparts (en fréquence et en ampleur).	- Zone peu occupée, pas de mesures particulières dans l'immédiat.
B LES GRANDS ILETS				
B1 - Ilet Roche à Jacquot Mare à Martin et Be Cabot	Au Nord Ouest du cirque	- 1980 : Route de Mare à Martin et piste de la ravine Mathurin coupées en plusieurs endroits par des glissements de talus et de versants et des coulées de boue.	- Aucun ravinement actif au revers de l'Ilet Mare à Martin, car bloqué par un seuil d'érosion constitué par une coulée basaltique. - Mouvements actifs (ravinement, glissement superficiel, tassement profond) à l'amont de ravine Blanche, en rive gauche.	- Etude des risques de glissement à ravine Blanche groupée avec celle de la zone A3.
B2 - Grand Ilet	Au Nord Ouest du cirque	- En 1980, trois grands glissements - coulées : - au Nord Est du village (cultures, habitations et chemins détruits). - au Sud Est, au dessus de Terre Plate (une case emportée, 10 victimes, route coupée). - au Sud, à côté du piton Papanque (dégâts aux cultures). - Nombreuses fissures de tassement (rejet d'ordre décimétrique) soulignant l'existence de grandes loupes de glissement d'extension hectométrique : nombreux décrochements de la route, habitations lézardées et basculées.	- En période climatique normale, peu d'évolution des versants. - En période de pluies exceptionnelles (fortes précipitations, cyclones), lourdes menaces sur les versants et les pourtours de l'Ilet : inondations des dépressions (mares), mise en charge de l'eau derrière les talus d'érosion, débouillage sous forme de glissements se transformant soudainement en coulées et lave torrentielle, arrachement et ravinement concentré. - Risque de glissement généralisé de toute la partie aval de l'Ilet jusqu'au village.	- Etude géologique et structurale détaillée, cartographie et étude spécifique de l'ensemble du massif de Grand Ilet avant tout projet d'extension de l'habitat ou tout programme d'équipement ou d'aménagement agricole - Sondages de contrôle et de surveillance.
B3 - Mare à vieille Place Mare à Citrons Mare à Goyaves	Au centre du cirque	- 1904 à Salazie : Coulée de terres et de blocailles au niveau du collège. - vers 1930 : Important tassement en grand du versant sous la mare à Goyaves. - en 1980 : Réactivation de ce versant avec décrochements de la route, d'ordre décimétrique. - 1980 : Coulée de boue (débordement de la mare) qui emporté une case au-dessus de la ravine Grosse Roche. - Route de Mare à Citrons vers la ravine Grosse Roche détruite. - Glissements du pont de la Savane d'Artimidor, de la piste du piton Maillot. . .	- Risques de tassements, de glissements - coulées et de ravissements sur les talus, rive gauche rivière du Mât, en amont du pont de la Savane. - Petits arrachements et glissements dans la ravine Grosse Roche, en aval de Mare à Citrons. - Quelques effondrements (entonnoirs) à Mare à Citrons. - Inondations torrentielles des anciennes mares.	- Aménagement d'un déversoir de la mare à Goyaves et canalisation des eaux en cas de débordement afin d'éviter le ravinement du versant. - Inventaire des dépressions (mares) inondables et proposition de leur drainage.
B4 - Ilet à Vidot Hell Bourg Mare à Poule d'Eau	Au Sud Ouest de Salazie	- 1980 : Des tassements-éboulements ont affecté sur plusieurs centaines de mètres le rempart d'Hell Bourg (directement en amont du kiosque) le faisant de nouveau reculer dangereusement vers la route (nombreux événements du même genre dans le passé). - Formation à l'aval d'une coulée de boue, de plus d'un kilomètre qui atteint la mare à Poule d'Eau chassant précipitamment l'eau après avoir fait sauter son verrou et formant une nouvelle coulée de lave torrentielle qui détruit complètement la route d'Hell Bourg et ruinant des cases, évacuées pour la circonstance.	- Sérieuses menaces de ravinement, d'éboulement, de glissement-coulée en bordure de l'escarpement du "kiosque" et du village de Mare à Poule d'Eau au-dessus des "tournants bambous", ainsi que sur les versants dominant la rivière du Mât et bras Sec. - Risque d'inondation torrentielle sur le bras des Demoiselles.	- Suivi de l'évolution de la falaise du plateau d'Hell Bourg (de part et d'autre du "kiosque") et du talus dominant les "tournants bambous" (à l'extrémité nord du village Mare à Poule d'Eau) : surveillance périodique des fissures, des tassements, des sources de tout nouveaux indices. . . (participation des riverains et des services compétents) : intervention géologique et géotechnique avant tout projet d'aménagement (habitat, route. . .). - Aménagement de la mare à Poule d'Eau : reconstitution de son verrou, contrôle du niveau de la mare ; aménagement d'un déversoir et d'une canalisation de vidange rapide vers la rivière du Mât (protection des berges et de la route d'Hell Bourg). - Recherche d'un nouveau tracé routier entre Mare à Poule d'Eau et Hell Bourg. - Prolongement de l'endiguement du bras des Demoiselles.
B5 - Mare d'Affouches	De la rivière des Fleurs Jaunes au Nord, à la rivière du Mât au Sud	- 1980 : - Nombreux glissements et fissures dans le versant.	- Vaste mouvement de fond des versants de mare d'Affouches vers la rivière du Mât avec risques fréquents de glissements et de fluage généralisé. - Grande sensibilité à l'érosion des versants de la ravine Henri, et en rive droite de rivière des Fleurs Jaunes.	- Aucune mesure prioritaire en l'absence d'aménagement notable.
B6 - Camp de Pierrot Le Bélier		- 1875 : Quelques "projections" de gros blocs au moment de l'écroulement de Grand Sable. - Secteur du Bélier relativement stable en soi mais risque grave d'écroulement des versants dominant le village.	- Erosion active en bordure du glacier de Camp de Pierrot par ravinement, tassement et glissement dû à l'affouillement des berges de la rivière des Fleurs Jaunes.	- Evaluation consoillé de certaines habitations du Bélier - secteur à définir à la suite de l'étude proposée pour la zone A2.
C PITON D'ENCHAING				
		- 1980 : - Affouillement important dans un méandre de la rivière du Mât. - Ecoulement de la crête dominant la pente Carozin. - Glissement et coulée de blocailles sur la piste de bras Sec.	- Pas de dangers particuliers au piton. - Structure aval-pendage du piton Maillot pouvant induire des glissements plans, des écaillages, des chutes de blocs. . .	- Zone pratiquement inoccupée, pas de mesures particulières.
D FONDS DE VALLEES				
D1 - Rivière des Fleurs Jaunes		- 1875 : Petite retenue des eaux à l'amont à la suite de l'écroulement de Grand Sable. - 1980 : Alluvionnement important au radier (4 m de dépôts sur une centaine de mètres de largeur).	- Ravinement, creusement et sapement des berges de tout le secteur amont du radier de Roche Plate. - Alluvionnement possible de Roche Plate au confluent de la rivière Roche à Jacquot. - Risque d'écroulements des berges dans les gorges du secteur aval avec possibilité de barrage naturel (conséquences sur l'écoulement et risques de débâcles torrentielles lors d'une rupture brutale).	- Signalement par les riverains de tout éboulement important dans les gorges ou les secteurs encaissés des cours d'eau - ou de tout tarissement brutal et suspect. - Intervention systématique en cas de barrage naturel (conséquences sur l'écoulement et risques de débâcles torrentielles lors d'une rupture brutale).
D2 - Rivière du Mât			Ravinement et creusement à l'amont. Alluvionnement au pont de la Savane. Risques d'écroulements à l'aval, dans les gorges.	

CIRQUE DE CILAOS

FORMES DE L'ÉROSION RÉCENTE ET ZONAGE DES TERRAINS



CARACTÉRISTIQUES DES ZONES
DE RISQUES

UNITES - ZONES	LOCALISATION GÉOGRAPHIQUE	EVENEMENTS MARQUANTS	TYPES DE RISQUES	RECOMMANDATIONS - MESURES PRIORITAIRES A PRENDRE
A LES REMPARTS ET LEURS BORDURES				
A1 - Bordure nord-ouest	Rond de Bras Rouge et ravine des Fleurs Jaunes à l'amont de la route de l'Ilet à Cordes	- 1949 (?) : Ecoulement d'un panneau sous le Grand Bénard, emportant la trace d'accès, au col de Taibit-Grand Bénard. - 1980 : - Grand arrachement et écoulement en rive gauche de Bras Rouge. - Glissements de talus et de versants, ravinements, érosion, chutes de pierres sur la route Cilaos-Ilet à Cordes, coupée et emportée en de nombreux endroits.	- Risque d'écroulement dans le bras Rouge et d'obstruction temporaire de son lit. - Risque de glissement des éboulis et des brèches reposant sur un dyke en aval pendage (route de l'Ilet à Cordes, vers le pont de Bras Rouge). - Risque permanent de glissements et d'écroulements sur les versants, de ravinements dans les torrents, de chutes de pierres et de blocs, affectant en particulier la route de l'Ilet à Cordes.	- Protection de la route de l'Ilet à Cordes assurée par un travail incessant d'entretien des talus (purges, plantations. . .), des ravines franchies par la chaussée (buses, radiers. . .), des murs de soutènement, des rigoles d'écoulement. . . pour ralentir au maximum le ravinement et l'érosion des versants tout particulièrement sensibles.
A2 - Bordure nord-est	Petit Matarum Grand Matarum bras des Etangs (à l'amont de la route des Thermes)	- 1980 : Grand arrachement en rive gauche du bras des Etangs au-dessus des Thermes.	- Zone fortement remaniée en profondeur : elle est le vestige de très anciens écoulements et glissements de très grande ampleur affectant des panneaux entiers au cœur du massif, désagréés sur place ; le plateau des Chênes en particulier peut être affecté de mouvements de fond et menacé éventuellement la partie haute de Cilaos, avec répercussions sur le régime hydraulique du massif. - Risque d'écroulement ou de glissement des talus du sentier de Bassin Bleu, en rive gauche du bras des Etangs.	- Suivi périodique du régime hydraulique des sources et résurgences (sous l'ancien séminaire de Cilaos et drainant les eaux du plateau des Chênes) par les autorités locales (municipalité, ONF. . .) pour étonnage ; toute modification anormale de ce régime pourrait être interprétée en termes de mouvements de terrain par le Service Géologique Régional (BRGM).
A3 - Bordure orientale	De la forêt de mare à Joseph à Pavillon avec les Ilets Gros Galets, Calebasse, Ilet Haut	- 1932, 1948 : Grands arrachements dans la ravine des Calumets. - 1980 : Réactivation de ces mouvements.	- Aucune évolution notoire des remparts, à part quelques écoulements localisés, de faible ampleur. - Risque de glissements, d'arrachements, de ravinements, en bordure des Ilets Gros Galets et Calebasse, au-dessus de la ravine des Calumets.	- Zone peu occupée, pas de mesures particulières dans l'immédiat.
A4 - Bordure occidentale	De la forêt de Tapcal à Pavillon avec la zone des petits Ilets (Ilet de Grand Coude) à parc à Dennemont	- 1948, 1949 : Eboulement considérable au Grand Serré formation d'un barrage de près de 100 m de haut dont la rupture a provoqué de gros dégâts à l'aval, à une époque où les terres étaient peu colonisées et les équipements inexistant. - 1980 : Regain d'activité de la production d'éboulis visés dans le rempart, à la base de l'échelle du coude du bras de Saint-Paul.	- Grand écoulement potentiel menaçant une échelle des remparts, au coude du bras Saint Paul d'où possibilité de barrage naturel important de la rivière. - Ravinements, arrachements, écoulements dans tous les torrents et ravines qui drainent la zone de piémont (les petits Ilets. . .).	- Surveillance périodique par les riverains et les autorités locales (municipalité, ONF. . .) de la production active et continue d'éboulis de l'échelle du coude du bras de Saint-Paul ; information régulière du Service Géologique Régional (BRGM) qui contrôlera l'évolution du mouvement permanent d'évaluer tout risque de barrage naturel du cours d'eau, en vue de la protection des équipements à l'aval (route d'accès au cirque, réseaux EDF et PTT, prise d'eau du périmètre irrigué du bras cilaos. . .).
B LES GRANDS ILETS				
B1 - Ilet à Cordes	Du côté des Orangers au Nord au plateau Terres Fines au Sud	- 1948 (?) et 1980 : Grands écoulements (sur quelques centaines de mètres de longueur) dans le coude de bras Rouge, (en aval de la ravine de Camp de Pucés et barrage temporaire du cours d'eau (alluvionnement à l'amont)).	- Ruissellement, ravinement et petits arrachements continus sur les versants dénudés au-dessus de Bras Rouge. - Menace d'écroulements importants dans certains coudes de Bras Rouge d'où barrage naturel de la rivière.	- Ilet stable dans son ensemble, mais prudence en bordure de certains secteurs menacés par des écoulements. Aucune action prioritaire.
B2 - Plateau de Cilaos	Du Nord au Sud - Ilet Plateforme - Mare Sèche - L'Echo - Les Etangs (Cilaos)	- Vers 1870, vidange soudaine de la mare "Sèche" avec coulée de boue à l'aval. - 1948 : à l'Ilet des Etangs (Cilaos), grand écoulement des talus dominant le bras de Benjoin, chemin et cultures emportés. - 1980 : Grand écoulement à Mare Sèche (50 000 m ³ environ) emportant la route de Cilaos sur près de 400 m de longueur et sur une hauteur de 200 m ; cases emportées. - nombreuses fissures de plusieurs centaines de m d'extension avec rejeux (de 0,10 à 1,00 m) vers la chapelle de Mare Sèche	a - Les talus et versants des Ilets - En bordure occidentale, grande aggrégation de l'érosion régressive en tête de ravine (H. Dijoux, Aigrettes. . .). - Menaces à court terme de tassements - éboulements tout le long de la falaise de l'Echo à la chapelle de Mare Sèche en cas de pluies exceptionnelles. - En bordure orientale (bras de Benjoin), ravinements et arrachements localisés en quelques secteurs. b - La surface des Ilets - Menace d'inondation et de débordement des dépressions et des mares.	- Etude géologique et géotechnique préalable des talus et des falaises avant tout projet d'aménagement proche des bordures d'Ilets. - Canalisation du cours de certaines ravines (limitation de l'érosion) : ravine drainant le trou Pilon vers le bras des Etangs, . . . - Inventaire des dépressions (mares) inondables et étude de leur drainage.
B3 - Ilet Bras Sec	Village de Bras Sec cap Sylvestre	- 1980 : Glissements de terrain superficiels et profonds au cap Sylvestre, ayant emporté ou submergé la route de Bras Sec.	- Erosion régressive active du cours inférieur de bras Sec, avec désordres sur ses rives. - Vaste mouvement de fond, localement réactif par des glissements et des ravinements superficiels sur les versants du cap Sylvestre : zone très vulnérable aux mouvements.	- Le rétablissement de la route de bras Sec n'est pas envisageable dans son tracé actuel car les glissements superficiels et le mouvement de fond qui affectent le cap Sylvestre sont actifs. - Etude géologique et géotechnique détaillée du secteur pour tout projet nouveau d'aménagement du cap Sylvestre.
B4 - Ilet Palmiste Rouge		- 1980 : Arrachements et glissements à Palmiste Rouge (des maisons évacuées, fissures de assement dans le sol, portion du terrain ex sport emportée. . .).	- Risque de sapement à la base des talus des méandres dans Palmiste Rouge, avec arrachements et tassements probables en bordure des ravines (ravine Martin, ravine des Calumets. . .).	- Eviter d'aménager et de construire trop près des bordures de l'Ilet.
C CAP NOIR, PETER BOTH, ET GROS MORNE DE GUEULE ROUGE				
C1 - Versant occidental	Rive gauche du grand Bras de Cilaos et du bras de Benjoin	- L'ancien chemin de Cilaos par le cap Noir a été progressivement et irrémédiablement détruit à la suite de l'érosion continue des versants. - Ecoulements dans le bras de Benjoin et petits barrages temporaires.	- Erosion intense par ravinement, chutes de blocs, écoulements en masse des parois, essentiellement au-dessus du bras de Benjoin, du confluent des Trois bras à l'Ilet Tommy en passant par la cascade du cap Noir.	- Zone déserte - aucune action prioritaire.
C2 - Versant oriental	Rive droite du petit Bras de Cilaos et versant au-dessus de Palmiste Rouge	- 1948 : Route coupée définitivement lors du cycloné où ouverture du tunnel de Peter Both. - 1971 : Eboulement en tête nord du tunnel.	- A l'échelle du versant, zone relativement stable et érosion peu active à condition de protéger la végétation, sinon de la développer. - A l'échelle de la route, problèmes locaux de ravinement, d'éboulement et menaces pour la viabilité de la route.	- Protection de la route de Cilaos assurée par un travail incessant d'entretien des talus (purges, plantations. . .), des ravines franchies par la chaussée (buses, radiers. . .), des murs de soutènement, des rigoles d'écoulement. . . pour ralentir au maximum le ravinement et l'érosion des versants tout particulièrement sensibles.
D FONDS DE VALLEES				
D1 - Bras Rouge D2 - Bras de Saint-Paul D3 - Bras de Benjoin		- 1948-49 : Eboulement considérable dans le Grand Serré avec barrage (voir A4) de la rivière. - 1948-1980 : Eboulements importants dans le bras Rouge (voir B1).	- Menaces essentiellement liées aux inondations provoquées par des écoulements de plus ou moins grande ampleur barrant les cours d'eau, mais aussi aux débâcles soudaines qui peuvent entraîner de très lourds dégâts, loin à l'aval.	- Signalement par les riverains de tout éboulement important dans les gorges ou les secteurs encaissés des cours d'eau, ou de tout tarissement brutal et suspect. . . au Service Géologique Régional (BRGM) qui appréciera les conséquences éventuelles au niveau de l'écoulement, des inondations, des risques de coulées boueuses présentant un danger pour les équipements, habitations et cultures à l'aval.