



document public

MINISTÈRE DE L'INTÉRIEUR
DIRECTION GÉNÉRALE DE L'ADMINISTRATION
Direction de la Défense et de la Sécurité Civiles

l'érosion dans le cirque de Mafate Ile de La Réunion

ses conséquences sur le maintien de l'économie des îlets



document public

MINISTÈRE DE L'INTÉRIEUR
DIRECTION GÉNÉRALE DE L'ADMINISTRATION
Direction de la Défense et de la Sécurité Civiles

l'érosion dans le cirque de Mafate Ile de La Réunion

ses conséquences sur le maintien de l'économie des îlets

M. Humbert
L. Stieltjes

décembre 1986
86 REU 173 GEG

BUREAU DE RECHERCHES GÉOLOGIQUES ET MINIÈRES
SERVICE GÉOLOGIQUE NATIONAL
Département Ingénierie Géotechnique
B.P. 6009 - 45060 ORLÉANS CEDEX 2 - Tél.: (33) 38.64.34.34
DIRECTION COMMERCIALE ET DE COORDINATION GÉOGRAPHIQUE
Service géologique La Réunion
B.P. 1206 - 97484 SAINT-DENIS CEDEX - Tél.: (262) 21.22.14

L'ÉROSION DANS LE CIRQUE DE MAFATE (ILE DE LA REUNION)

Ses conséquences sur le maintien de l'économie des flets

Par Michel HUMBERT et Laurent STIELTJES

86 REU 173 GEG

DECEMBRE 1986

R E S U M E

Après les cirques de Salazie et de Cilaos (1981), et la reconnaissance des grandes ravines ou entailles des pentes externes de l'Ile (1984 et 1985), l'étude des risques géologiques à La Réunion se termine aujourd'hui (1986) par le Cirque de Mafate.

L'ensemble de l'Ile fait donc, à ce jour, l'objet d'un bilan complet des problèmes d'érosion, souvent générateurs en périodes cycloniques de nuisances importantes (chaussées emportées, terres agricoles détruites ...), mais aussi de victimes (Grand Ilet, Salazie, 1980).

Cette dernière phase 1986 a été prise en charge conjointement par la Direction de la Défense et de la Sécurité civiles, le Bureau de Recherches Géologiques et Minières et la Délégation aux Risques Majeurs, dans le cadre de leurs crédits de recherche appliquée à la prévision et à la prévention des risques naturels, en liaison avec la Direction Départementale de la Protection Civile de Saint-Denis.

Lorsque de fortes précipitations s'abattent dans le Cirque de Mafate, l'érosion se manifeste principalement dans la moitié occidentale, c'est-à-dire dans le bassin-versant fortement disséqué de la rivière des Galets, à l'amont du Bras d'Oussy et de la ravine Grand Mère. Le cheminement des eaux superficielles provoque un ruissellement et un ravinement intense, accompagnés d'alluvionnement rapide ou d'inondations torrentielles. Quant aux arrachements en bordure des îlets, aux glissements ou coulées de versants ..., ils sont le résultat de l'action des eaux souterraines, mises en pression dans les talus.

L'érosion "en grand" et la violence des crues torrentielles sont commandées par le relief, la nature et la structure géologique des terrains, les hauteurs d'eau et l'intensité des précipitations, les types d'occupation du sol ... La conjonction de ces facteurs plus ou moins développés selon les secteurs, explique la différence d'intensité des processus de démantèlement -moins prononcés à l'Est du Cirque qu'à l'Ouest-. Des risques de mouvement de grande ampleur peuvent également exister et provoquer localement des embâcles importantes dans les cours d'eau.

Une carte à 1/25 000 fait état de ces différents processus dont l'influence est loin d'être négligeable sur le maintien des terres de cultures et des itinéraires de liaison et de randonnées dans le Cirque.

S O M M A I R E

RESUME

INTRODUCTION.....	1
CHAPITRE I : CADRE DE L'ETUDE	
1 - ELEMENTS ESSENTIELS DE L'ILE ET DES CIRQUES.....	4
1.1 - SITUATION ET RELIEF.....	4
1.2 - GÉOLOGIE.....	5
1.3 - EAUX SOUTERRAINES.....	8
1.4 - CONTEXTE CLIMATIQUE GÉNÉRAL.....	10
1.5 - OCCUPATION DU SOL ET DÉVELOPPEMENT.....	12
2 - PARTICULARITES DU CIRQUE DE MAFATE.....	13
2.1 - MORPHOLOGIE ET DRAINAGE.....	13
2.2 - ÉVOLUTION DU PROFIL EN LONG DE LA RIVIÈRE DES GALETS ET DU BRAS DE STE SUZANNE.....	19
2.3 - CONTEXTE GÉOLOGIQUE ET MORPHO-STRUCTURAL.....	20
2.3.1 - Structure volcanique originelle.....	21
2.3.2 - Les matériaux "détritiques" du fond du cirque.....	23
2.3.3 - Tectonique profonde et superficielle.....	24
2.4 - VÉGÉTATION ET ACTIVITÉ HUMAINE.....	25
CHAPITRE II : ÉVOLUTION DES RELIEFS ET ÉROSION MAJEURE	
1 - PRINCIPAUX FACTEURS D'ÉROSION.....	28
1.1 - RELIEFS SEVERES ET GRANDES DENIVELLATIONS.....	29
1.2 - MATÉRIAUX VARIÉS ET TRÈS DÉSORGANISÉS.....	30
1.3 - PRÉCIPITATIONS ABONDANTES ET DE FORTES INTENSITÉS.....	32
2 - PRINCIPALES FORMES D'ÉROSION.....	32
2.1 - ÉROSION LIÉE AUX EAUX DE SURFACE ET AU RAVINEMENT.....	33
2.1.1 - Les formes superficielles d'érosion, de très petite taille.....	33
2.1.2 - Les formes superficielles d'érosion, de plus grande taille et mieux individualisées.....	34

2.2 - EROSION LIEE AUX EAUX SOUTERRAINES ET AUX MOUVEMENTS DE MASSE..	36
2.2.1 - Les glissements superficiels et arrachements.....	37
2.2.2 - Les mouvements de grande ampleur.....	37
2.3 - IDENTIFICATION ET LOCALISATION.....	39
2.3.1 - Les mouvements superficiels.....	39
2.3.2 - Les mouvements profonds de grande ampleur.....	40
2.4 - DEGRE DE RISQUE.....	41
3 - CONSEQUENCES SUR L'AMENAGEMENT ET L'ECONOMIE DU CIRQUE.....	42
3.1 - PROTECTION DES TERRES CULTIVABLES.....	43
3.2 - MAINTIEN DES SENTIERS.....	44
CONCLUSION GENERALE.....	45
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....	47

ANNEXE 1 : QUELQUES EVENEMENTS HISTORIQUES SURVENUS DANS MAFATE
(D'APRES RECHERCHES D'ARCHIVES).

CARTE (Hors texte) : PRINCIPALES FORMES D'EROSION SUPERFICIELLE ET PROFONDE
DANS LE CIRQUE DE MAFATE A 1/25 000.

Liste des figures

- Fig. 1 - 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.
- Fig. 2 - Coupe des deux volcans de la Réunion ; le piton de la Fournaise s'est édifié à flanc du massif du piton des Neiges.
- Fig. 3 - Carte physiographique de la Réunion mettant en évidence les grands traits structuraux volcaniques et leur reprise et développement par érosion.
- Fig. 4 - Tableau récapitulatif détaillant les ravines affluentes, les limites morphologiques et les principaux filets concernés.
- Fig. 5 - Coupe interprétative de la bordure du Cirque de Mafate au niveau de la crête des Orangers et de Grand Place (secteur aval du Cirque et de la Rivière des Galets).
- Fig. 6 - Coupe transversale interprétative du Cirque de Mafate.
- Fig. 7 - Tableau récapitulatif des principales caractéristiques des formations volcaniques dans le Cirque de Mafate.

INTRODUCTION

A l'occasion des précipitations exceptionnelles de janvier 1980, durant le cyclone Hyacinthe, une érosion de type catastrophique affecta de nombreuses régions de l'Ile et notamment les Cirques de Mafate, Salazie et Cilaos. Ces deux derniers, relativement peuplés, furent particulièrement touchés par les glissements, coulées de boue et inondations torrentielles.

Au lendemain de ces événements qui avaient également affectés gravement la région de Saint-Denis, le Service géologique régional de la Réunion proposa un vaste programme de cartographie des risques naturels couvrant les principales zones sensibles de l'Ile, à savoir les cirques et les grandes ravines et rivières "au vent".

En conséquence, une première phase fut programmée et réalisée dès l'été 1980, à savoir l'étude et la cartographie des risques géologiques prévisibles dans les Cirques de Salazie et Cilaos (HUMBERT et al., 1981). Il était en effet urgent d'observer très rapidement, après le passage du cyclone Hyacinthe, les différents types d'érosion engendrés par les eaux, d'en expliquer le mécanisme, avant que ne disparaissent les empreintes et les vestiges des matériaux déplacés par les nombreux mouvements de terrain. L'opportunité n'a pas permis, à l'époque, que soit réalisée dans "la lancée", l'étude du Cirque de Mafate.

La deuxième et la troisième phase prévues au programme furent réalisées en 1984 et 1985 et concernaient les risques, directs ou indirects, liés à l'érosion des grandes ravines des secteurs "au vent" (HUMBERT, 1985 et 1986), à savoir les massifs de St Denis, St Benoît, de la Fournaise et de Grand Bassin.

Financé par la Direction de la Sécurité Civile, qui prenait ainsi le relais de la "Région", ce programme se termine donc aujourd'hui par la quatrième et dernière phase (1986), c'est-à-dire l'étude du Cirque de Mafate.

Il est bien sûr regrettable que cette reconnaissance intervienne 6 ans après le passage du cyclone Hyacinthe, car il est difficile aujourd'hui de retrouver les témoins de tous les évènements (arrachements, glissements, éboulements ...) survenus à cette époque. Toutefois, nous avons pu bénéficier d'observations accumulées au fil des années par le Service géologique régional de l'Océan Indien, ainsi que de certaines données recueillies dans le cadre d'une "Monographie du bassin-versant de la rivière des Galets" (STIELTJES, 1984).

Ainsi, avec cette dernière étude, prend fin à l'Ile de la Réunion, la reconnaissance globale à 1/25 000 des risques géologiques liés aux grandes "crises érosives" qui secouent périodiquement ce pays, au cours des abondantes précipitations qui atteignent leur paroxysme en période cyclonique.

CHAPITRE I

CADRE DE L'ETUDE

CHAPITRE I

CADRE DE L'ETUDE

Le Cirque de Mafate, à l'égal des Cirques de Cilaos et de Salazie fait partie d'un vaste système érosif qu'il faut resituer dans le contexte général de l'Ile, afin d'en bien saisir tous les éléments. Mais il est aussi celui dont l'évolution semble être la plus avancée, au sein d'un ensemble volcanique dont il est utile de rappeler brièvement les caractéristiques essentielles.

1 - ELEMENTS ESSENTIELS DE L'ILE ET DES CIRQUES

1.1 - Situation et relief

Isolée dans l'Océan Indien, à quelques 700 km de Madagascar, l'île culmine à plus de 3 000 m. D'origine volcanique, elle présente deux cônes alignés NW-SE, qui culminent respectivement au Piton des Neiges (3 069 m, sommet de l'île) et au Piton de la Fournaise (2 361 m).

Les flancs de ces deux volcans sont constitués essentiellement par un empilement de coulées basaltiques et de scories, et offrent des pentes externes relativement régulières, qui s'adoucissent au voisinage du littoral pour former une côte basse, souvent soulignée par une petite falaise littorale.

Mais cette régularité d'ensemble des versants externes de l'île ne doit pas faire oublier l'extrême diversité de l'intérieur marquée par la présence de ces extraordinaires manifestations de l'érosion que sont les trois Cirques, dont celui de Mafate, objet de notre étude.

Grossièrement circulaires, de 10 à 12 km de diamètre, ils sont limités par de puissants remparts, tombant quasi-verticalement de 600 à 900 mètres de haut. Au point d'intersection et dominant les trois Cirques, le Gros Morne culmine à 2 992 m. Les Cirques sont séparés les uns des autres par de minces crêtes résiduelles et leur fond est constitué de formations détritiques où s'enfoncent les eaux torrentielles, isolant ainsi une succession de petits plateaux ou "îlets", lieux privilégiés d'un habitat précaire et de quelques cultures vivrières. Accessibles le plus souvent par de simples sentiers venant des gorges, ces îlets sont parfois à plusieurs heures de marche de toute route, Mafate étant particulièrement deshérité puisqu'aucune route ne pénètre à l'intérieur.

Les torrents des Cirques convergent tous vers un goulet de sortie, formant ainsi à leur confluence, une rivière dont les débits sont nettement plus élevés que ceux des ravines ou rivières des pentes externes. Elles débouchent sur la côte par des gorges impressionnantes (Rivière du Mât pour Salazie, Rivière des Galets pour Mafate, Bras de Cilaos pour Cilaos) en formant des cônes alluviaux importants.

1.2 - Géologie

L'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. 1).

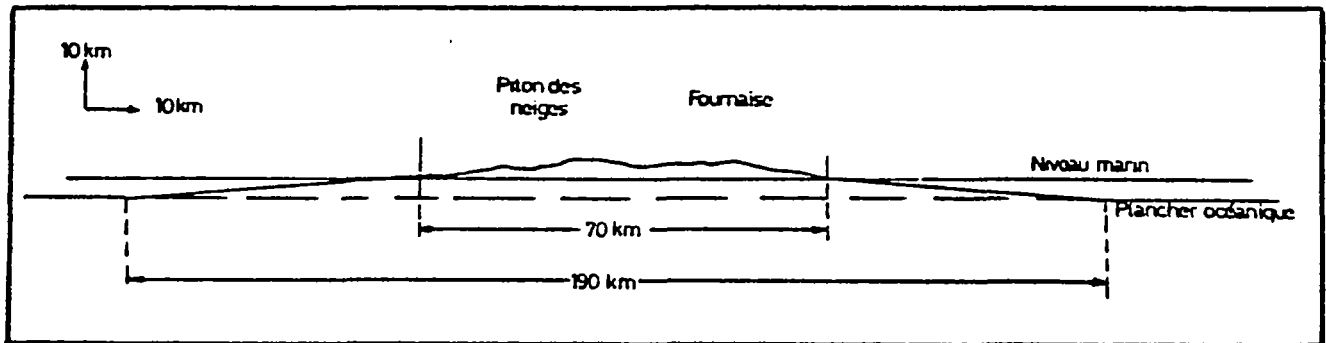


Fig. 1 - Coupe d'ensemble de l'appareil volcanique dont la partie émergée constitue l'île de la Réunion, la partie immergée représente les 9/10 du volume total

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

* Le massif du 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.(millions d'années), 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.

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

Quatre ensembles chronostratigraphiques ont été isolés et se retrouvent dans le Cirque de Mafate :

- 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 (2 361 m), volcan plus récent, s'est développé sur les flancs du piton des Neiges depuis 35 000 ans environ (Fig. 2). L'activité volcanique basaltique se poursuit de nos jours avec une fréquence annuelle.

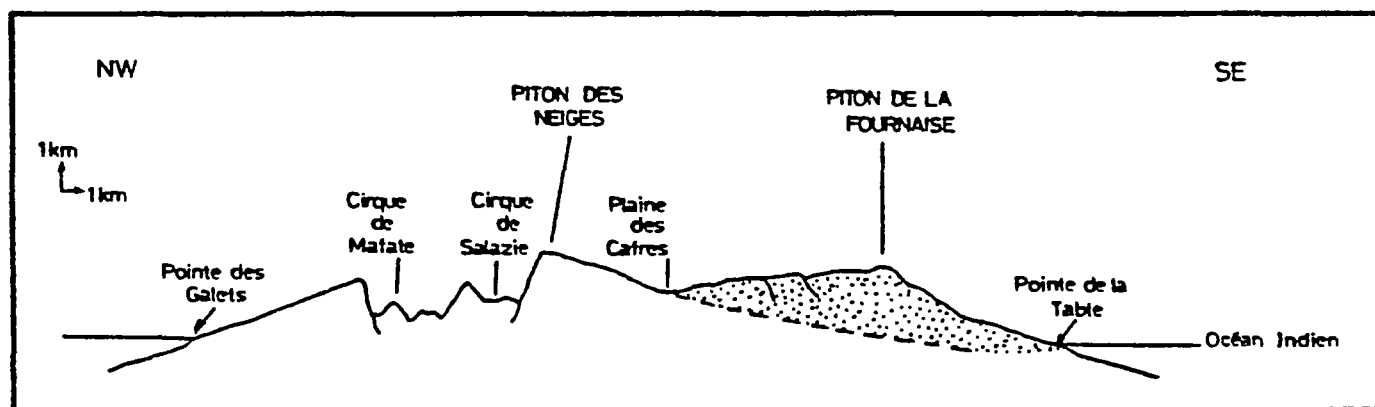


Fig. 2 - Coupe des deux volcans de la Réunion ; le piton de la Fournaise s'est édifié à flanc du massif du piton des Neiges

* 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 tiretés (caldera) (Fig. 3). Ce développement érosif est possible d'une part, par la 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.

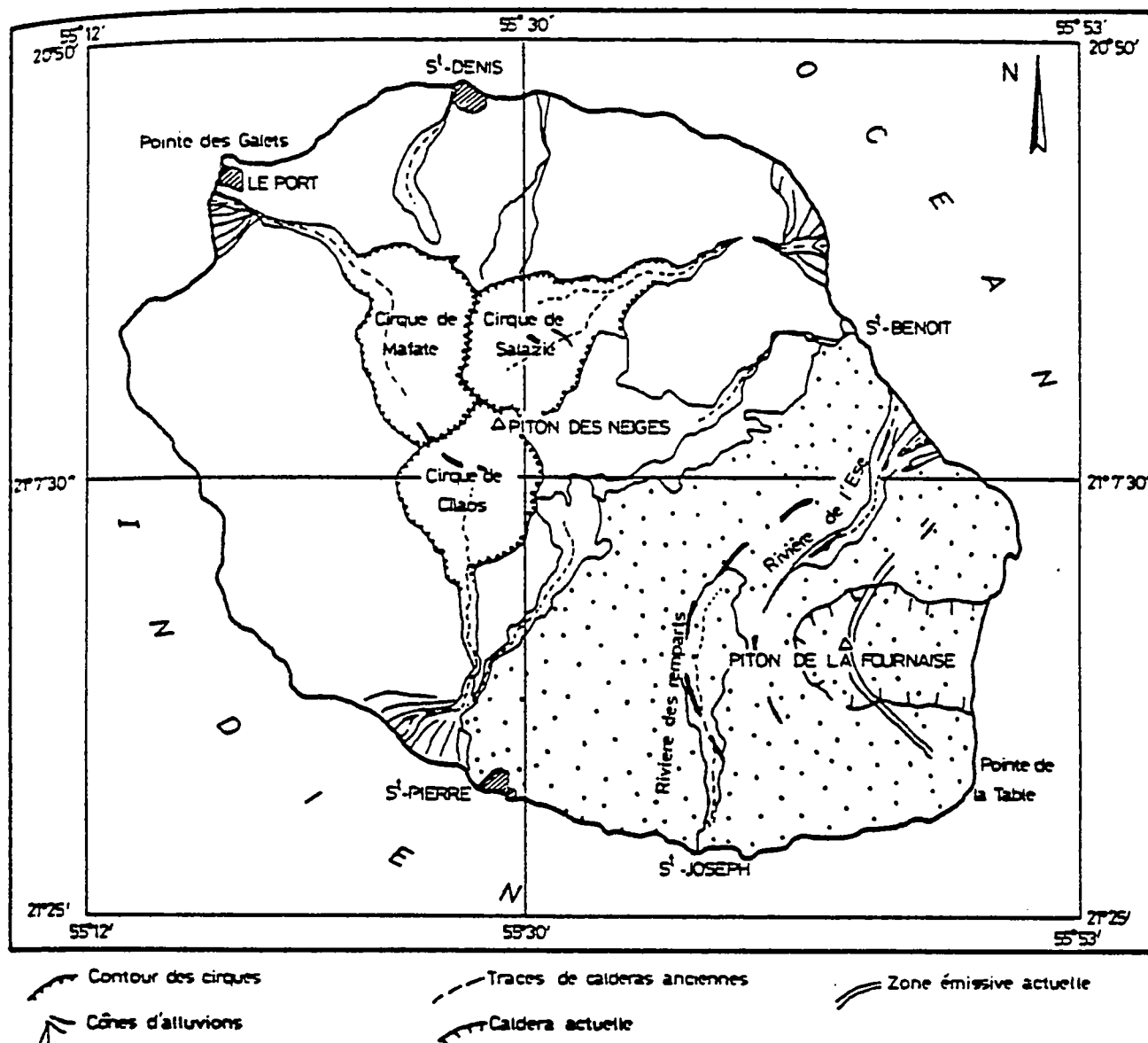


Fig. 3 - Carte physiographique de la Réunion mettant en évidence les grands traits structuraux volcaniques et leur reprise et développement par érosion

1.3 - Eaux souterraines

L'hydrogéologie constitue également un élément important qu'il faut passer en revue, pour mieux comprendre le rôle que vont jouer les eaux souterraines dans la stabilité des versants et l'hydrologie des ravines.

Mais comme précédemment, la simplicité apparente de ces deux strato-volcans, constitués en majorité par un empilement de coulées basaltiques, masque en fait une très forte hétérogénéité dans le détail qui va introduire d'importantes variations dans la circulation des eaux.

Dans le sens vertical, le haut degré de fissuration des coulées de basalte s'ajoutant à la grande perméabilité des scories confèrent aux différents massifs de l'île une perméabilité en grand. Celle-ci favorise l'infiltration des eaux de pluies qui rejoignent une surface de saturation, souvent très profonde. Cette véritable nappe phréatique dite "nappe de base", qui correspond donc à la saturation dans la série basaltique, s'appuie sur le niveau de la mer ; elle se raccorde à l'amont à la nappe soutenue par les océanites anciennes imperméables.

Toutefois, quelques formations sont capables de faire écran au cheminement vertical des eaux. Elles donnent naissance à des niveaux de sources sur les versants des vallées ou des cirques. Ce sont les anciens sols, les couches de cendres volcaniques ou autres produits pyroclastiques altérés, les anciens lits alluvionnaires fossilisés, certains niveaux conglomératiques et parfois même les dykes. En effet, la tectonique cassante et l'injection de sills et de dykes peuvent non seulement créer des drains supplémentaires, mais aussi des barrages à l'eau souterraine.

Cette eau ainsi retenue en altitude suivant des modalités diverses assure la formation de nappes dites "perchées".

Enfin, certaines circulations souterraines se font en aval, écoulement le long de tunnels de lave, véritables canalisations naturelles dont la section peut atteindre plusieurs mètres de diamètre. Les débits peuvent être très importants (plusieurs mètres cubes seconde). Ils alimentent soient des cascades, soit la nappe de base, voire même ressortent en mer, créant ainsi des sources d'eau douce sous-marines (région de St-Philippe par exemple).

Pour mémoire, les nappes alluviales dans le secteur aval des grands cours d'eau sont évidemment alimentées par leurs rivières respectives. L'accumulation des alluvions peut être considérable et dans ce matériel détritique très poreux et perméable, la majeure partie des eaux de ruissellement s'infiltrer. Il ne subsiste ainsi qu'un mince filet d'eau en surface, tandis qu'en profondeur, l'eau s'écoule vers la mer.

Les cirques sont alimentés à travers leurs remparts, par des niveaux de sources régies par le système hydrogéologique général du strato-volcan qui vient d'être exposé : c'est le cas par exemple des sources et

cascades dans le rempart au-dessus du village de Salazie ou celles sortant au pourtour du Piton des Neiges et qui alimentent les rivières des trois cirques, ou bien encore les sources des Orangers dans Mafate émergeant à la faveur d'un dyke.

Mais à l'intérieur des cirques, le régime hydrogéologique est totalement différent. Les flets 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 flets dès qu'il pleut, c'est-à-dire que la réponse du terrain est immédiate à l'infiltration.

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'flets par écaillage, pouvant provoquer des coulées de boue dévastatrices.

1.4 - Contexte climatique général

Le climat de la Réunion est fortement influencé par l'anticyclone de l'Océan Indien. Dans sa position moyenne, 30 à 33° de latitude S, celui-ci est à l'origine des alizés du S.E. dont l'influence sur l'île délimite la zone "au vent" de la zone "sous le vent". Son emprise sur la Réunion est plus forte pendant l'hiver austral alors qu'il est plus proche de l'île.

Ce vent, sec à l'origine, se charge d'humidité au-dessus de l'Océan (d'autant plus que l'anticyclone est éloigné de la Réunion) et donne des précipitations sur les reliefs de l'île. Ces pluies orographiques ont leur maximum d'importance dans la zone centrale de l'île, c'est-à-dire dans les cirques dominés par le massif du Piton des Neiges.

En général, on assiste dans cette zone à une répartition mensuelle des pluies particulière avec notamment (BARGEAS, 1984) :

- un mois de février très pluvieux : 4 valeurs supérieures au mètre (1971, 1972, 1977, 1979) et 2 seulement inférieures à 500 mm (1978-1981) ;

- un hiver beaucoup moins pluvieux que la saison chaude, mais qui reçoit cependant des pluies abondantes (juillet-août).

Lorsque l'anticyclone se retire vers le Sud, pendant l'été austral, aux perturbations précédentes liées aux fronts des alizés s'ajoutent les dépressions tropicales pouvant évoluer en cyclone. Leur trajectoire est aléatoire et certaines années, aucune d'entre-elles n'atteignent l'île. Mais lorsqu'elles l'intéressent, leur emprise est quasi-générale et l'on note alors sur l'ensemble du territoire des pluviométries très élevées, et une crise érosive correspondante très destructrice.

Ainsi la dernière en date était liée au Cyclone Hyacinthe, en janvier 1980. Durant 13 jours, il est tombé dans certains endroits, plus d'eau qu'au cours d'une année entière (6,4 m d'eau au cratère Commerson dans le massif de la Fournaise). A St-Denis comme à St-François, les quantités d'eau ont été égalées (1,16 à 2,16 mètres contre 1,17 et 2,07 mètres).

Mais ces crises cataclysmales le sont encore davantage par les intensités observées sur de courtes périodes (1,7 mètres en 24 heures à Grand Ilet, dans le cirque de Salazie, 0,6 mètres dans les Hauts de Ste-Rose). Durant le cyclone destructeur de janvier 1948, on a par exemple noté à Grand Bassin plus de 1 mètre d'eau le 27 janvier, avec à St-Denis et à Takamaka des chiffres atteignant 0,3 à 0,4 mètres.

Ces pluies abondantes et ces intensités élevées engendrent des crues d'une violence et d'une rapidité rarement observée dans le monde. Les débits estimés, rapportés au km² de bassin-versant atteignent des valeurs exceptionnelles, sans commune mesure avec celles que l'on connaît habituellement, même dans des régions de forte pluviosité. Il en résulte une action érosive des cours d'eau et des ravines qui met en danger la stabilité des versants et des berges, sans compter bien sûr les inondations qui les accompagnent. Mais cette action va cependant se manifester différemment, en fonction du relief, de la lithologie, de la structure des massifs et notamment des cirques et aussi des profils en long et en travers des ravines.

1.5 - Occupation du sol et développement

En fonction des conditions naturelles et des activités humaines, la répartition des différentes formations végétales et des cultures est essentiellement commandée par l'altitude. Côté "au vent", la côte 500 à 700 sépare approximativement la forêt d'en haut (bois de couleurs, tamarins) de la zone d'en bas (canne à sucre). A partir de 1 800 m, la forêt fait place progressivement à une végétation éricoïde "les branles" qui s'éclaircit avec l'altitude pour laisser la roche presque à nue, vers les sommets (Plaine des Chicots).

Si la forêt et la végétation naturelle jouent en général un rôle stabilisateur de l'érosion, il n'en est pas de même dans les Cirques où l'érosion est intense par suite d'un déboisement non contrôlé des terres depuis plus d'un siècle (HUMBERT et al., 1981).

Dès le début de la colonisation des cirques, au 19ème siècle, la fragilité des sols avait été reconnue et l'on s'aperçut que l'activité humaine par culture sur brûlé, et par toute autre moyen de défrichement, augmentait cette fragilité en déclenchant des phénomènes d'érosion qui conduiraient rapidement à la ruine des sols.

Des règlementations 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.

Ainsi, pour le Cirque de Cilaos, on pouvait lire l'arrêté suivant¹⁾ :

"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 ° 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⁾ Extrait de "La Revue de Géographie de Bordeaux" - Cahiers d'Outre-Mer, n° 35, juillet-septembre 1956, p 263-313.

De nos jours, la propriété des "Domaines" dans les Cirques de Salazie et Cilaos se trouve réduite aux remparts et à certaines zones difficilement accessibles. Quant à Mafate, c'est tout à fait le contraire, puisqu'environ 9 500 hectares appartiennent aux "Domaines" -et qui les louent- contre seulement 300 à des privés. On y pratique des cultures vivrières et des zones de reboisement ont été délimitées.

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.

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.

2 - PARTICULARITES DU CIRQUE DE MAFATE

2.1 - Morphologie et drainage

Dans le paysage du Cirque de Mafate, caractérisé par une extrême vigueur du relief, différents grands ensembles morphologiques peuvent être distingués, à savoir : les remparts, les surfaces planes plus ou moins pentues, les ravines avec leurs berges et leurs versants diversement disséqués.

. Les remparts limitent à l'Ouest et au Nord le cirque de Mafate tandis qu'à l'Est, les crêtes du Bélier, du Gros Morne et de Salazie dessinent la séparation avec les cirques voisins de Salazie et de Cilaos.

En allant du Grand Bénare (2 896 m) vers l'entrée de Mafate (1 510 m) au niveau de la confluence de la rivière des Galets et du Bras Ste Suzanne en passant par le Maïdo (2 203 m), la bordure rectiligne du rempart s'abaisse régulièrement du Sud vers le Nord. Il en est de même de la Roche Ecrite (2 277 m) au sentier du Cap Noir (1 300 m) à Dos d'Ane.

Avec des parois abruptes et quasi-verticales (pentes de 60 à 70 °), ils ont en moyenne 800 à 900 mètres de hauteur. Si de loin la face des remparts paraît lisse et unie, de près et à travers le sentier de Rocheplate par exemple, l'alternance de bancs de basaltes et de brèches et scories offrent de petites banquettes de pente plus douce, où s'accroche une maigre végétation.

Des éperons inclinés à 50 ou 60 ° se présentent parfois (secteur des Orangers ...) sur ses parois, bordés de part et d'autre par des ravine-ments où s'engouffrent les eaux de ruissellement. A la base des remparts, les formations détritiques du cirque et les talus d'éboulis sont découpés par l'érosion qui creuse des ravines, en isolant des triangles résiduels inclinés et particulièrement fragiles.

Comme dans les autres cirques, les éboulements actuels sont très rares à l'échelle des remparts, le pendage des couches étant vers l'extérieur, c'est-à-dire en amont-pendage. L'érosion par les eaux de ruissellement ou par la résurgence au moment des pluies d'eau souterraine, se contente d'y imprimer de nombreuses rayures verticales, plus ou moins ramifiées. Parfois quelques entonnoirs d'érosion (à l'origine peut-être d'écroulement) existent comme vers les Orangers.

. **Les chaînons internes**, aux arêtes aigues, aux versants raides, sont les témoins de coulées du Piton des Neiges (phase IV). Alignés SE-NW, on distingue le chaînon du Morne de Fourche ou Crête des Calumets, qui se termine par le Piton des Calumets (1 614 m), la Crête d'Aurère avec le Piton Cabri (1 441 m) et la Crête de la Marianne qui s'étire sur près de 5 km (entre 1 000 et 2 000 m d'altitude).

Ces arêtes sont formées de bancs de laves disloqués, parfois basculés et même redressés, truffés de dykes ; ils sont dans l'ensemble de pendage nord-ouest. Ces formes aigues et abruptes dans le paysage de Mafate sont assez déconcertantes et leur formation s'explique difficilement.

. **Les flets** délimitent des zones planes qui se poursuivent à l'amont par des pentes faibles et mamelonnées ; à l'aval, et latéralement, ils sont entaillés par des ravins et des ravines très profondes, aux versants très raides.

Ils correspondent à l'ancienne plate-forme en fond de berceau, assez proche de l'horizontal, du fond du cirque, constituée de brèches entamées et remaniées par les eaux de ruissellement, et recouvrant le socle ancien. Lorsque fut établi un écoulement vers la mer, le ruissellement transforma le fond de berceau en plan incliné vers la sortie et un réseau de ravines se concentra au départ du chenal d'écoulement vers les Deux Bras. En s'encaissant, les ravines découpèrent donc les premiers flets, qui furent à nouveau submergés localement par les dernières laves du Piton des Neiges, et un nouveau cycle de ravinement s'établit dans Mafate.

En définitive, le fond du cirque que l'on peut reconstituer au-dessus des ravines récentes n'est ni régulier, ni horizontal, mais formé d'une succession de plateaux et de croupes parfois effondrés, disposés en gradins descendant des Salazes et du Morne de Fourche vers l'exutoire de Mafate. On passe ainsi de 1 500 m (La Plaine aux Sables, La Nouvelle) à 800 m (Grand Place, Ilet à Mahleur) et 600 m (l'Ilet à Déjeuner) à l'aval du Bras Ste Suzanne.

Ainsi, ces plans inclinés furent très rapidement parcourus par un réseau de ruissellement aux trajectoires les plus aléatoires, variant au gré des blocs, des coulées, des dykes de roches plus dures. Les ravines se sont ensuite encaissées sur place d'autant plus rapidement que tous ces matériaux détritiques de fond de cirque sont peu cohérents et facilement gorgés d'eau. Elles ont ainsi découpé la plate-forme originelle en lanières et plateaux-témoins ou "flets", de tailles et de formes diverses (Marla, La Nouvelle, Aurère ...), dominant gorges et ravines par des pentes raides et très souvent disséquées en bad-lands, comme dans le cours supérieur de la Rivière des Galets.

. **Les ravines et les zones d'érosion accélérée** se répartissent donc, pour finir, entre les chaînons internes et les flets ou zones planes. Elles occupent une superficie importante, avec un pourcentage nettement plus important dans la zone occidentale, de part et d'autre de la Rivière des Galets, la moitié orientale du cirque étant moins disséquée et moins ravinée.

Il existe en effet, dans Mafate, deux régions qui s'opposent assez nettement par leur paysage et par les processus d'érosion à l'origine des ravines, créant ainsi une certaine dissymétrie.

A l'Ouest, dans Mafate, la Rivière des Galets a été repoussée contre le rempart occidental de Mafate, par les laves et les brèches descendues du cône de Salazes. Sur les pentes de ce dernier s'est inscrit un réseau d'affluents parallèles entre eux (Bras Rémy et Ravine aux Sables, Ravine Cimendal, Bras d'Oussy ...) qui contraste avec le secteur sans drainage de la rive gauche. De part et d'autre de la Rivière des Galets, sur les versants souvent très raides, en amont de Grand Place et jusqu'à Marla et au-delà, on observe une érosion active hiérarchisée en bad-lands, ravinements concentrés ou diffus, glissements et écroulements ...

A l'Est, dans Mafate, la série des ravines affluentes n'offre plus une érosion aussi intense. En tête, au pied du Morne de Fourche, l'incision est linéaire et peu profonde et la végétation est abondante. A l'aval, de La Nouvelle à Grand Place et Aurère, l'érosion des ravines est plus prononcée, donnant un paysage de pitons, de tours, de colonnes, d'aspect parfois ruiniforme comme les Pitons Papangue et Tortue. Parfois au sommet de ces formations comportant des matériaux fins, genre cinérites, on observe des traces d'érosion éolienne.

Enfin, vers le goulet de sortie, dans le fond de la Rivière des Galets et du Bras Ste Suzanne existent des terrasses, parfois étagées, provenant d'alluvions torrentielles.

En conséquence de cette morphologie très particulière, le **drainage de Mafate** s'organise selon 2 grands bassins qualifiés de majeurs (Rivière des Galets et Bras d'Oussy) et 3 bassins plus réduits et qualifiés de mineurs (les Orangers, le Bras des Merles et le Bras de Ste Suzanne).

Un tableau récapitulatif (Fig.4) en détaille les ravines affluentes, les limites morphologiques et les principaux flets concernés.

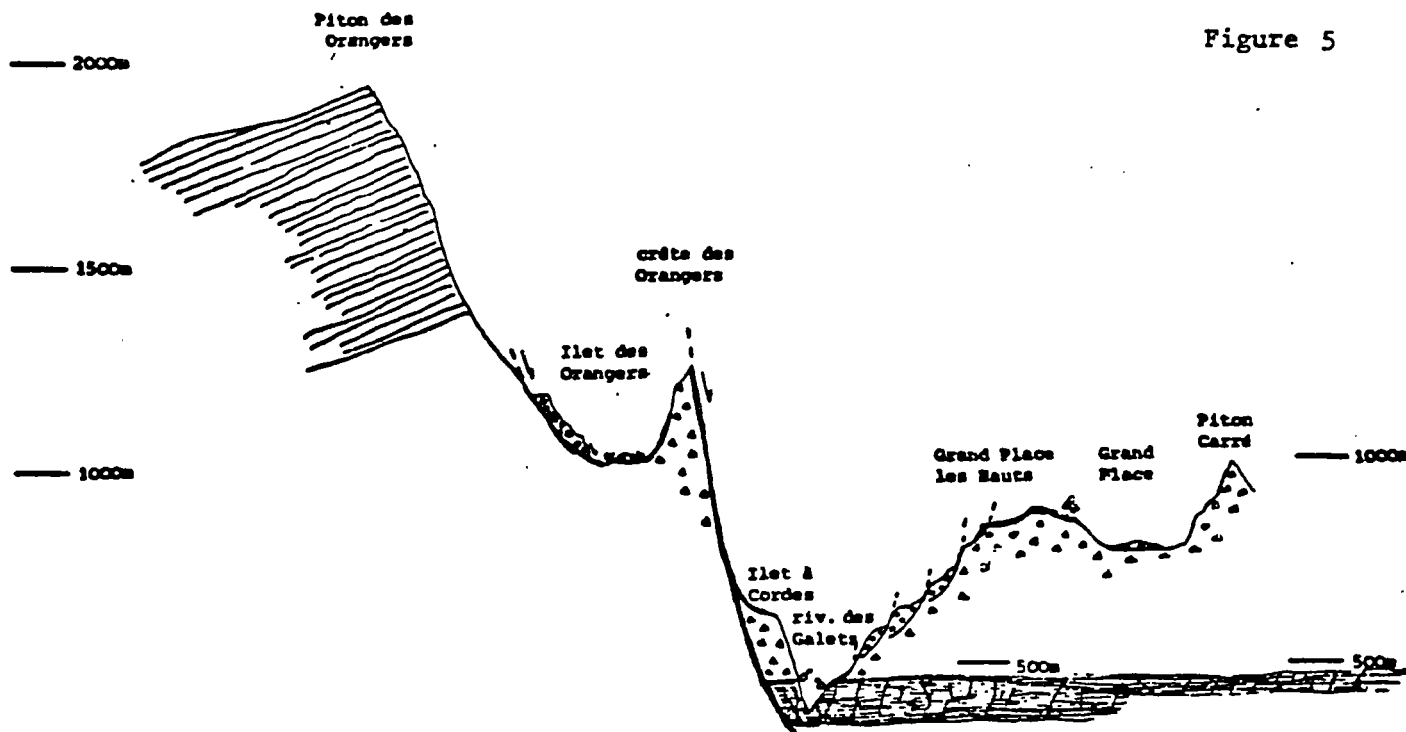
BASSINS	RAVINES PRINCIPALES	LIMITES MORPHOLOGIQUES	PRINCIPAUX ILETS
<u>MAJEURS</u>			
1 - Rivière des Galets S.S.	Rivière des Galets Bras Machine Ravine Kerval Ravine Marla Ravine du Taïbit Ravine Rocheplate } rive gauche Bras de Rémy et ravine aux Sables Ravine Cimendal Ravine des Calumets ou de Grand Place } rive droite	Crête des Orangers Rempart Grand Bénard Gros Morne Morne de Fourche Crête des Calumets Piton Kichenin Piton Tortue	Merle Le Nouvelle Cimendal Trois Roches Roche Plate Grand Place Ilet à Cordes Ilet des Lateniers
2 - Bras d'Oussy	Bras Bemele Grande Ravine Bras d'Oussy Ravine Chouchou Ravine du Cap Blanc	Crête des Calumets Morne de Fourche Bord de Martin Cimendef Crête de la Marianne	Ilet à Bourse Ilet Picard Ilet à Malheur Aurère
<u>MINEURS</u>			
3 - Orangers	Ravine Grand Mère Ravine des Orangers	Rempart de Mafate Crête des Orangers	Ilet des Orangers
4 - Bras des Merles	Bras des Merles	Crête d'Aurère Crête de la Marianne	Ilet Cerneau ou des Merles
5 - Bras Sainte-Suzanne	Bras Défour Bras de Sainte-Suzanne	Crête de la Marianne Roche Ecrite Rempart du cirque sous la plaine des Chicots et la plaine d'Affouche	Ilet à Déjeuner Ilet Natte Ilet Palmiste Ilet à Patates } inhabités

L'influence de la structure et de la tectonique a guidé le tracé du réseau hydrographique qui s'est incisé en suivant le réseau de failles radiales ou tangentiellles d'une part, des rifts lorsqu'ils étaient composés de matériau friable, d'autre part. Cette adaptation à la structure est très nette pour la Rivière des Galets et la Ravine Grand'Mère plaquées contre le rempart Sud comme l'indique la coupe transversale (Fig. 5) établie entre la crête des Orangers et Grand'Place, et également pour le Bras de Ste Suzanne plaqué contre le rempart Nord, ainsi que pour le Bras des Merles et le Bras d'Oussy (dont le tracé en baïonnette est remarquable).

En résumé, le Cirque de Mafate se caractérise par une dissection intense du relief, des pentes fortes et des surfaces planes très limitées, avec un réseau de ravines plus actives à l'Ouest qu'à l'Est.

COUPE INTERPRETATIVE DE LA BORDURE DU CIRQUE DE MAFATE
AU NIVEAU DE LA CRETE DES ORANGERS ET DE GRAND PLACE
(SECTEUR AVAL DU CIRQUE ET DE LA RIVIERE DES GALETS)

Figure 5



- br brèches grossières soudées : brèches d'écroulement recimentées
- βIII empilements basaltes-scories
- βII série basaltique océanique ancienne, généralement imperméable : colmatage de la série (fissures, bulles) par les minéraux hydrothermaux (zéolites, ...) ; pourcentage d'intrusions variant de 10 à 60% de la masse
- panneaux effondrés ou glissés : on retrouve parfois la trace de la stratification initiale des basaltes, mais l'ensemble est généralement fragmenté (allure de brèche à gros blocs) ou mylonitisé. Séries perméables, sensibles au ravinement et aux mouvements de versants localisés
- C colluvions de pente, de plateau ; conglomérats
- c éboulis de pentes
- } matériaux meubles

2.2 - Evolution du profil en long de la Rivière des Galets et du Bras de Ste Suzanne

Sur le plan vertical l'enfoncement du réseau hydrographique s'est fait aux dépens des couches volcaniques stratifiées et de cohérence différente. Certaines couches très résistantes (les plus anciennes) déterminent des seuils à l'origine de cascades dont la plus importante est celle de Trois Roches sur la Rivière des Galets proprement dite ; elle présente une chute de plus de 100 m. Tous les affluents présentent ainsi des profils en marche d'escalier conditionnés par la présence de seuils constitués d'affleurement basaltiques durs.

* A l'amont des "Deux Bras", le lit de la **Rivière Ste Suzanne** prend rapidement une pente importante et sa largeur se rétrécit notablement. Le lit est encombré de gros blocs tombés des versants et le profil en long est influencé par la présence d'un bedrock rocheux qui affleure souvent, formant, dès l'amont de la confluence du "Bras des Merles", des chutes peu hautes mais bien marquées de quelques mètres, pouvant atteindre sur l'une d'elles une dénivelée de l'ordre de 5 à 6 m.

* Le lit de la **Rivière des Galets** amorce lui aussi un accroissement de pente mais moins brusquement. Sur un à deux kilomètres, il reste large et de même aspect qu'à l'aval des Deux Bras. Dans cette zone, il existe peu de seuils, mais les versants sont plus instables et l'on note une agressivité de l'érosion latérale. Des apports sont possibles par suite de l'érosion des hautes terrasses anciennes et de la reprise des cônes latéraux. La granulométrie des matériaux du lit semble augmentée, la pente est homogène et de l'ordre de 3 %.

Cet aspect se maintient jusqu'à la zone de confluence du "Bras d'Oussy". Cette zone est très perturbée et illustre la puissance des apports conjugués de ces deux rivières en crue.

Vers l'amont le lit de la rivière se rétrécit très rapidement. Les alluvions du fond occupent toute la largeur entre des falaises massives et particulièrement marquées, les apports de ce bassin sont repris sans problème par la rivière principale et il n'existe pas de cône de déjection, ni de cassure de pente anormalement forte.

Ce type de lit se maintient avec quelques élargissements locaux jusqu'à la confluence de la Rivière des Calumets.

A l'amont de cette zone et à partir du pied des flets de Grand'Place, les versants latéraux sont notablement plus instables. Bien que rocheux, le pendage du versant rive gauche est favorable à des glissements et par endroits les sapements par la rivière favorisent les glissements et éboulements. Le lit s'encombre de gros blocs isolés qui, ensuite, formeront l'essentiel de son lit jusqu'au Bronchard.

Les apports de la Ravine de Roche Plate ne perturbent pas l'aspect général de ce tronçon où, très vite et malgré la pente, la grosseur des blocs ne permet pas de penser que la rivière pourra les déplacer dans un proche avenir. Le profil en long se raidit notablement (de l'ordre de 10 %) de la valeur proche de la pente initiale des laves volcaniques. C'est la conséquence d'une succession de seuils dont certains sont massifs et d'autres constitués par de très gros blocs tombés des versants.

C'est à l'amont de ce tronçon et après la confluence avec le Bras de Rémy dont les apports ne laissent pas de trace dans le lit principal que se situe la seule discontinuité notable du profil en long : la chute des "Trois Roches".

Ce verrou qui forme une chute de l'ordre de 160 mètres marque un point dur dans le recul et le basculement normal du profil en long.

A l'amont de ce point dur, un nouveau profil se dessine mais le niveau de base ne s'abaisse pas alors que les versants latéraux sont plus tendres. Le lit amont de la rivière ne s'enfonce pas nettement, un chevelu hydrographique beaucoup plus dense s'installe qui intéresse alors l'ensemble du cirque jusqu'au pied du Gros Morne.

2.3 - Contexte géologique et morpho-structural

Le Cirque de Mafate regroupe donc un ensemble de profondes entailles dues à l'érosion des ravines, sur des hauteurs de près de 1 500 m, et qui atteignent ainsi le coeur du strato-volcan du Piton des Neiges.

2.3.1 - Structure volcanique originelle

Ce strato-volcan en forme de bouclier est constitué par un empilement monotone en sandwich "lave-scorie-lave-scorie", chaque banc ayant une épaisseur variant de 1 à 10 m environ (on rencontrera toutefois quelques coulées plus massives, résultant le plus souvent de remplissage de vallées fossiles). Le pendage des couches, divergent vers la mer, varie de 5 ° à 18 °. Cet empilement est compartimenté par des intrusions verticales de lave (dykes), traces des fissures d'alimentation des coulées de lave, représentatives donc des diverses directions tectoniques actives anciennes. A proximité des anciens axes actifs (rifts)¹⁾ ou des centres volcaniques²⁾, la densité des dykes et des sills (intrusions horizontales entre les couches) peut atteindre 30 à 70 % de la masse rocheuse en place.

Ce compartimentage par les intrusions joue un rôle fondamental dans les processus d'érosion et dans la perméabilité des séries.

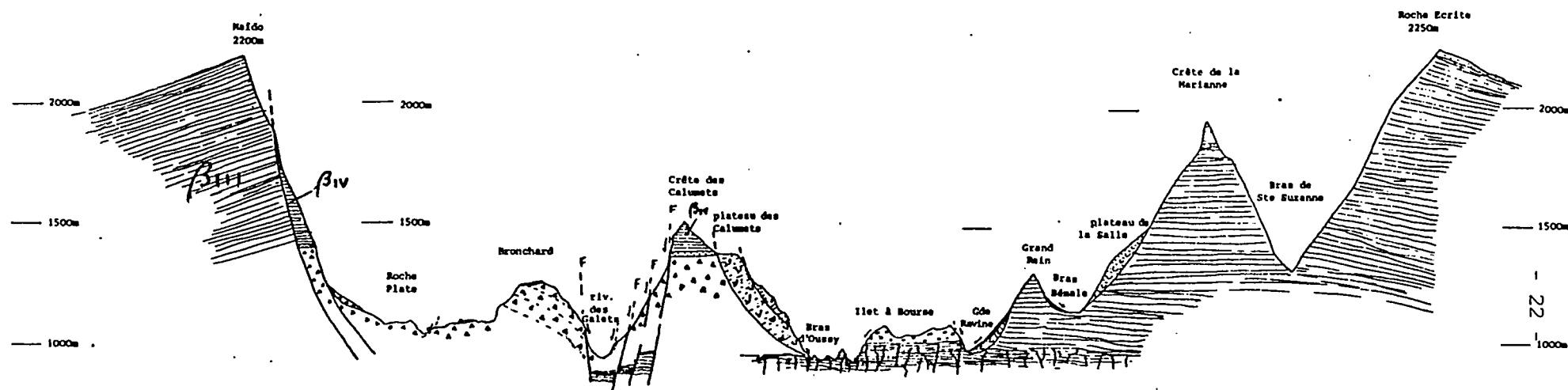
De la structure originelle du volcan, il ne subsiste au sein du cirque, que quelques témoins. Ce sont bien entendu les remparts extérieurs tout d'abord, puis les 4 crêtes principales que sont les crêtes des Orangers, des Calumets, d'Aurère et de la Marianne. Ces crêtes sont généralement fortement armées par des intrusions. Les formations volcaniques en place doivent ensuite se rechercher dans le fond des rivières dont elles forment les berges abruptes, suite à un recreusement récent par le réseau hydrographique (marqué par différentes générations de terrasses alluviales). Ainsi les observe-t-on dans la Rivière des Galets mais aussi dans le fond du Bras d'Oussy, de Grande Ravine, du Bras Bémale ...

La coupe transversale interprétative à travers le cirque (Fig. 6) montre bien l'organisation de toutes ses formations.

1) Comme par exemple le rift N 150 passant sous le Cap Noir et armant la crête d'Aurère.

2) Comme le Gros Morne qui est l'un des remparts du cratère central du Piton des Neiges.

Figure 6 - Coupe transversale interprétative du Cirque de Mafate



- | | | |
|------|--|---|
| βIV | <div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="border: 1px solid black; width: 20px; height: 10px; margin-right: 5px;"></div> <div style="border: 1px solid black; width: 20px; height: 10px; margin-right: 5px; background: repeating-linear-gradient(45deg, transparent, transparent 2px, black 2px, black 4px);"></div> </div> | empilement de coulées de basaltes alternant avec des scories |
| | | <div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="border: 1px solid black; width: 20px; height: 10px; margin-right: 5px; background: radial-gradient(circle, black 1px, transparent 1px); background-size: 4px 4px;"></div> </div> |
| br | <div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="border: 1px solid black; width: 20px; height: 10px; margin-right: 5px; background: radial-gradient(circle, black 1px, transparent 1px); background-size: 4px 4px;"></div> </div> | brèches grossières soudées ; brèches d'écroulement recimentées |
| BIII | <div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="border: 1px solid black; width: 20px; height: 10px; margin-right: 5px; background: repeating-linear-gradient(-45deg, transparent, transparent 2px, black 2px, black 4px);"></div> </div> | empilements basaltes-scories |
| BII | <div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="border: 1px solid black; width: 20px; height: 10px; margin-right: 5px; background: repeating-linear-gradient(45deg, transparent, transparent 2px, black 2px, black 4px);"></div> </div> | série basaltique océanique ancienne, généralement imperméable ; colmatage de la série (fissures, bulles) par les minéraux hydrothermaux (sédiments, ...) ; pourcentage d'intrusions variant de 10 à 60% de la masse |
| | <div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="border: 1px solid black; width: 20px; height: 10px; margin-right: 5px; background: radial-gradient(circle, black 1px, transparent 1px); background-size: 4px 4px;"></div> </div> | panneaux effondrés ou glissés ; on retrouve parfois la trace de la stratification initiale des basaltes, mais l'ensemble est généralement fragmenté (altère de brèche à gros blocs) ou mylonitisé. Séries perméables, sensibles au ravinement et aux mouvements de versants localisés |
| C | <div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="border: 1px solid black; width: 20px; height: 10px; margin-right: 5px; background: radial-gradient(circle, black 1px, transparent 1px); background-size: 4px 4px;"></div> </div> | matériaux meubles |
| n | | |

2.3.2 - Les matériaux "détritiques" du fond du cirque

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 flets (panneaux effondrés) de matériaux bréchiques, repris ensuite par différentes générations de mouvements (glissements, arrachements de coulées de boue) affectant les brèches primaires.

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 différentes phases tectoniques.

Parmi les formations bréchiques les plus fréquemment observables dans Mafate, nous distinguerons :

- **les brèches tectoniques** qui résultent comme leur nom l'indique d'une déformation des terrains par fracture ou par affaissement. Le matériau affecté peut être constitué soit par des roches dures (coulées de basaltes) qui sont alors broyées et cimentées ensuite, soit par des brèches préexistantes (brèches volcaniques, brèches d'explosion ...) qui sont démantelées et recimentées ultérieurement.

Ce type de matériau est très fréquent dans le Cirque de Mafate puisque pratiquement tous les flets sont des panneaux effondrés dont le soubassement est constitué par des brèches.

- **les brèches résultant du travail de l'érosion**, dont les produits étalés en cônes ou en glacis à forte pente ont également été plus ou moins cimentés par la suite . Les matériaux tombés directement des falaises ou n'ayant subi qu'un transport très limité par les eaux courantes restent anguleux ; ils sont plus ou moins lités suivant la prépondérance du façonnement fluvial.

Ces matériaux bréchiqques, parfois peu cimentés, sont soumis à une érosion et à un ravinement intense durant la saison des pluies, et en conséquence, vont créer comme on l'a vu précédemment, un modèle de ravines, ravins, bad-lands... contribuant à l'aspect déchiqgueté du fond du cirque.

La coupe interprétative à travers le Cirque de Mafate, du SW au NE (Fig. 6) essaie de montrer l'organisation de toutes ces formations, qu'elles soient profondes (le socle) ou superficielles (brèches détritiques).

2.3.3 - Tectonique profonde et superficielle

Chacune d'entre elle joue ou a joué un rôle important dans l'évolution ancienne, récente ou actuelle du cirque.

. La tectonique profonde du massif détermine, en effet, plusieurs éléments fondamentaux :

- la morphologie des parois des remparts et des crêtes, combinaison de l'association de ces différentes directions ;

- le changement de direction du cours des ravines, le plus souvent guidé par les directions intrusives ou de fracturation ;

- les surfaces de glissement des grands panneaux effondrés formant les flets de fond de cirque, donc les guides de la tectonique superficielle ;

- les drains préférentiels de circulation de l'eau dans le bâti volcanique original, donc aussi de l'altération par hydrothermalisation.

Dans le Cirque de Mafate, plusieurs centaines de dykes ont été inventoriés et on a pu le rapporter à 5 systèmes distensifs principaux :

- rift N 150 ; le plus ancien et l'axe majeur de l'île ; il arme en particulier la crête d'Aurère ;

- rift N 120 ; l'axe émissif le plus récent, responsable des dernières éruptions du Piton des Neiges (30 000 à 20 000 ans BP) ;

- fracturation N 80-95 ; fracturation assez dispersée et qui provoque des décrochements profonds du bâti ancien ;

- fracturation N 45 ; joue souvent en décrochement ; dispersée dans le cirque ;

- fracturation N 25 ; peu importante, mise en place en plusieurs temps ; guide souvent la remontée de laves différenciées.

A cela s'ajoute toute une fracturation circulaire.

. **La tectonique superficielle** regroupe les mouvements qui ont provoqué l'effondrement des panneaux du massif volcanique, ainsi que les mouvements récents ou actuels se produisant dans ces formations effondrées de fond de cirque (reposant sur les formations volcaniques en place).

Elle est fort complexe puisqu'elle s'appuie d'une part sur les diverses directions cassantes anciennes du volcan, et d'autre part correspond aux loupes d'arrachement ou de glissement de faible ampleur guidées par la morphologie et la cohésion de matériaux plus ou moins consolidés.

Cette tectonique superficielle participe donc directement à l'évolution actuelle du Cirque de Mafate, c'est-à-dire qu'elle est impliquée directement au même titre que d'autres facteurs (lithologie, drainage ...) dans l'estimation des risques de grand mouvements dans ce secteur.

2.4 - Végétation et activité humaines

En dehors des quelques zones de reboisement (cryptomerias à Aurère ...) qui sont rares, le Cirque de Mafate est voué soit à la culture sur les flets (moins de 5 % de la superficie soit à peine 5 km²), soit à la brousse qui occupe les trois-quarts du territoire. Celle-ci remplace, sur les flets et les versants des ravines -quand ceux-ci ne sont pas à l'état de bad-lands- le manteau forestier originel dégradé depuis la colonisation du cirque, qui débuta peu avant la Révolution et se poursuivit au siècle dernier. Ainsi, en 1883 , il y avait dans le cirque plus de 190 familles. Aujourd'hui, chaque flet ne compte plus qu'une dizaine de foyers -et même moins-.

La brousse peut être localement très dense comme par exemple au Sud de Mafate (Marla, Kerval ...). Au Nord, en bordure de la Rivière Ste Suzanne, comme dans la Plaine des Tamarins, la forêt de bois de couleur prend le relais. Or, nous avons vu précédemment, que ces secteurs sont moins sujets à l'érosion que le bassin-versant de la Rivière des Galets, pour des raisons à la fois de pentes moins fortes, de matériaux moins fins et moins fracturés ...

Si le défrichement peut dans certains cas favoriser l'érosion, il n'est pas à Mafate et particulièrement dans le bassin amont de la Rivière des Galets à l'origine de l'érosion intense que l'on observe. De type géologique, cette érosion (qui va plus vite que la pédogénèse) peut, certes être ralentie par la végétation mais non pas stoppée.

Il est cependant plus que probable que les zones qui apparaissent aujourd'hui comme peu érodées ou moins sensibles que le haut bassin sont en fait dans un état d'équilibre précaire qui serait détruit par un défrichement intensif. Ce risque doit absolument être évité.

CHAPITRE II

EVOLUTION DES RELIEFS ET EROSION MAJEURE

CHAPITRE II

EVOLUTION DES RELIEFS ET EROSION MAJEURE

Le Cirque de Mafate, comme les deux autres cirques de l'Ile, est affecté par une érosion et un démantèlement intenses des reliefs, certes ralentis aujourd'hui, mais cependant toujours très actifs. La présentation détaillée du cadre de l'étude laissait déjà présager l'existence des principaux facteurs entrant en jeu dans les processus d'érosion, mais aussi les formes majeures qui leur sont liées et qui marquent encore profondément les paysages.

1 - PRINCIPAUX FACTEURS D'EROSION

Bien que très nombreux, ces facteurs peuvent être regroupés en deux familles :

- les uns, comme la topographie, la géologie (lithologie, structure ...), la géomorphologie dynamique (mouvements de terrain ...), l'hydromorphologie (circulation des eaux souterraines, drainage superficiel ...) seront qualifiés de **facteurs permanents** ;

- les autres, liés par exemple à la climatologie (précipitation ...), à la végétation, aux activités humaines ... seront dits **facteurs occasionnels**, en opposition aux précédents.

Parmi ces principaux facteurs, les trois éléments à nos yeux les plus importants et à l'origine de processus d'érosion particulièrement intenses, sont les suivants :

- reliefs sévères et grandes nivellations,
- matériaux volcaniques variés et fortement désorganisés,
- précipitations abondantes et prolongées.

1.1 - Reliefs sévères et grandes dénivellations

Ces deux éléments frappent tout observateur découvrant ou pénétrant pour la première fois dans le Cirque de Mafate, peut-être encore davantage que dans les Cirques de Salazie ou Cilaos. Là aussi, de nombreux compartiments topographiques en relief ou en creux (îlets, massifs, remparts ...), de taille variable, s'individualisent à l'intérieur du Cirque. Malgré leur apparente organisation, ils sont dans le détail relativement disparates, avec des oppositions marquées entre le secteur occidental (Rivière des Galets s.s.) et le secteur oriental du Cirque.

Ceinturés par les remparts, atteignant parfois 1 000 m de haut, les secteurs en relief sont intensément disséqués à l'Ouest par la Rivière des Galets et ses ravines affluentes. En revanche, ils le sont un peu moins à l'Est. Ces cours d'eau gagnent en quelques kilomètres le niveau de base proche, à hauteur de l'exhutoire des Deux Bras, à l'altitude de 250 m. Des plateaux largement déployés (La Nouvelle, Grand Place ...) ou restreints à quelques arpents de terre (Ilet Cimendal, Ilet à Cordes, Ilet des Lantanières ...), des crêtes étroites (Les Orangers, les Calumets ...) isolent des vallées profondes où alternent gorges et petits bassins.

Dans Mafate, l'apparence "alpine" de ces reliefs résulte davantage 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 ou des îlets qui atteignent tout au plus 1 500 m.

1.2 - Matériaux variés et très désorganisés

La prépondérance d'un matériel hétérogène lié à des structures complexes d'effondrement et aux produits d'accumulations composés de matériaux meubles et grossiers est un facteur déterminant dans 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, défavorables à la stabilité des terrains.

Dans le tableau ci-après (Fig. 7), nous dressons un récapitulatif des caractéristiques (cohésion, altération, fracturation et perméabilité) des différentes formations volcaniques (de base et détritique) rencontrées dans Mafate et qui contribuent à l'aspect si particulier de ce paysage.

FORMATIONS VOLCANIQUES	COHESION	ALTERATION	FRACTURATION	PERMEABILITE
Basaltes : phases III et IV	- empilement lave-scories, soudés - parois très stables ; tout au plus, quelques arrachements rocheux localisés dans les remparts, fournissant une quantité négligeable de matériaux mobilisables	- faible à nulle ; se résume à une légère oxydation des minéraux - hydrothermalisation légère autour des dykes et des sills (parfois quelques zéolites dans les fissures et bulles)	- formations fissurées et poreuses - intrusions (dykes et sills) peu nombreuses ; < 10 % de la masse rocheuse	- perméabilité en grand de l'ensemble des formations. Seuls quelques horizons imperméables localisés constituent un niveau imperméable d'extension réduite - les parois des remparts absorbent l'essentiel des précipitations et du ruissellement
Basaltes + brèches : phases I et II	- laves et brèches généralement soudées - nombreux dykes qui sont autant de surfaces de décollement	- oxydation du verre et minéraux, serpentinisation autour de certains sills - zéolitisation développée dans les fissures, particulièrement dans les zones à intrusions	- mylonitisation fréquente, cimentée par l'hydrothermalisation - nombreuses intrusions jouant en distension (dykes) et en gonflement (sills)	- variable suivant degré d'hydrothermalisation. En général, cette série joue le rôle de formation imperméable ; de nombreuses sources émergent au contact de cette série et des séries supérieures.
Brèches et sédiments consolidés (d'origine volcanique ou d'écroulement)	- bonne ; évolue en écroulements rocheux ou écroulements en masse	- importante : oxydation et hydrothermalisation	- présence d'intrusions dans certaines formations	- variable suivant la nature des brèches ; très difficile à apprécier globalement, le nombre de types de brèches est très nombreux ; à prendre cas par cas.

Fig. 7 - Tableau récapitulatif des principales caractéristiques des formations volcaniques dans le Cirque de Mafate

1.3 - Précipitations abondantes et de fortes intensités

Bien que le Cirque de Mafate se situe dans la zone sous le vent, avec une pluviométrie moyenne annuelle allant de 1,5 à 2 mètres, ce sont les précipitations exceptionnelles qui sont dangereuses. Presque chaque saison de pluies 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 2,70 m dans le Cirque de Mafate. Des moyennes quotidiennes de 0,5 à près de 1 m ont parfois été enregistrées.

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, etc.

2 - PRINCIPALES FORMES D'EROSION

Après chaque orage violent ou à la suite de précipitations cycloniques exceptionnelles, le Cirque de Mafate est l'objet d'une érosion intense sous l'effet, soit du cheminement en surface des eaux de ruissellement, soit par l'action des eaux souterraines saturant les talus et les versants et induisant des mouvements de masse.

L'ensemble de ces processus de destruction, producteurs continuels de matériaux, fait partie du cycle bien connu érosion-transport-sédimentation avec toutes les conséquences que cela entraîne au niveau de la protection des terres dans le Cirque. Leurs descriptions et leurs cartographies, qu'il s'agisse de formes mineures comme le ruissellement, le ravinement ... ou de formes majeures telles que glissements, écroulements, coulées ... s'inscrivent dans la connaissance qu'il faut acquérir pour mieux contrôler l'évolution de ces processus et essayer de réduire leurs effets néfastes.

2.1 - Erosion liée aux eaux de surface et au ravinement

2.1.1 - Les 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 diffus ... remodelent sans cesse les surfaces topographiques. Comme pour le ravinement, elles sont à prendre en compte 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 élevée et les formes de cette érosion mineure, loin d'être ainsi généralisées, sont beaucoup plus strictement localisées en quelques zones critiques.

* **L'érosion pluviale** se manifeste par l'action de la pluie sur le sol, exerçant 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 fonction des propriétés du sol qui offre une résistance plus ou moins prolongée. Or, dans les cirques, les "brèches" et les sols qu'elles engendrent sont d'une telle diversité qu'il est difficile de distinguer les différents niveaux de l'action érosive de la pluie, qui, rappelons-le, prépare les étapes ultérieures de l'érosion.

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.

2.1.2 - Les formes superficielles d'érosion, de plus grande taille et mieux individualisées, succèdent donc aux précédentes, et marquent irrémédiablement le paysage, vu leur importance et leur extension, comme en témoigne la cartographie à 1/25 000 (cf. carte hors texte).

* **Le ravinement** 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 toute sorte (agricoles, forestiers ...). 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.

- a) **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 flets, sur les cônes d'éboulis et 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 ravines.

- b) **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. Le Cirque de Mafate présente tous les niveaux de cette différenciation avec toutes les conséquences que cela entraîne (érosion, transport, alluvionnement rapide ...).

Les ravines actives évoluent rapidement, soit par creusement linéaire, soit par évolution latérale. De taille variable, elles peuvent atteindre fréquemment plusieurs dizaines de mètres de profondeur, sinon plus.

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, etc.) qui bloque le creusement à l'amont empêchant ainsi toute élévation de pente longitudinale de la ravine; c'est en particulier le cas de la Rivière des Galets à Trois Roches. A l'aval de la rupture de la 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 leurs 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 coulée de boue. 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 cette description s'applique à des ravins entaillant des versants, la succession très rapprochée de plusieurs ravins conduit tout d'abord à une extrême ramification, puis ensuite à un paysage de "bad-lands". La densité des ravins est telle que ceux-ci sont contigus et que la surface topographique initiale est complètement détruite. Les ravins sont généralement séparés par des arêtes vives dominant des versants très raides de forme concave.

Ce type de processus se développe d'autant mieux que la formation attaquée est meuble ou hétérogène (alternance de sables, cendres ou scories et de lits de cailloux ou brèches).

Cette forme d'érosion combine l'enfoncement linéaire, les sapements de berge et les glissements de versant en relation avec un niveau de base très proche. La fourniture à chaque ravine de matériaux arrachés ou glissés peut conduire à la formation de petites coulées de boue et de blocs qui restent cependant très limités en volume.

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 du Cirque, entraînant la disparition des terres de cultures, la destruction des chemins, l'inondation de certaines zones d'habitat ...

2.2 - Erosion liée aux eaux souterraines et aux mouvements de masse

Ce type d'érosion 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 de tels mouvements ne manquent pas dans le Cirque : 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 et se détruisent mutuellement. C'est l'un des caractères originaux des mouvements de masse dans Mafate, 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'évènement, 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. Ce dernier est d'autant plus précieux à mettre en relief qu'il révèle des zones de mouvements anciens qui sont aujourd'hui les secteurs les plus vulnérables aux mouvements de terrain de toutes sortes.

2.2.1 - Les glissements superficiels et arrachements 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 apparaissent 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 ... 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.

Ils sont nombreux en bordure des îlets, au sommet des talus, mais ils s'estompent vite, ne laissant plus dans le paysage qu'une forme assimilable à une niche d'érosion, définition qui, dans le doute, ne présume pas de la manière dont elle s'est formée.

2.2.2 - Les mouvements de grande ampleur, aux conséquences parfois catastrophiques bien que moins fréquents, comparés à l'érosion et aux désordres précédemment décrits, existent cependant comme en témoigne un certain nombre d'évènements historiques recueillis dans les dossiers des Archives départementales de La Réunion (cf. Annexe 1).

Ainsi, le 31 juillet 1958, au lieu-dit "Le Bloc", "la Rivière des Galets a été barrée par un éboulement (important). Un lac s'est formé, de 125 m de long, 30 m de large et 10 m de profondeur. Le sentier habituel du Cirque ne peut plus être fréquenté". Auparavant, en 1930, "les ravines roulent des torrents d'eau. Des éboulis se sont produits dans toute l'étendue du cirque. L'eau a tout envahi". Et l'on déplore de très graves dégâts (route emportée, maisons ensevelies sous les éboulis, plantations détruites ...)

Au début du siècle également, un évènement important s'est produit dans le fond de la Rivière des Galets. C'est vers 1870, en rive droite, aux alentours des sources sulfureuses, au lieu-dit l'îlet de Mafate, qu'un petit

village s'établit, relié à St Paul par un chemin qui empruntait en majeure partie le lit de la rivière. Cet itinéraire relativement fréquenté, à cause de la pratique des eaux thermales, a bénéficié des chroniques de l'époque. Elles font état de nombreux mouvements de terrain à l'origine de la destruction périodique du chemin, pratiquement chaque année.

Or, en 1927 semble-t-il, le rempart du Bronchard, situé en face au village, s'effondra et des blocs énormes de basalte, mélangés à des scories constituèrent un barrage sur la Rivière des Galets. L'eau submergea les cases, qui durent être abandonnées. Enseveli en partie sous les alluvions, le village fut abandonné et les sources taries.

Aujourd'hui encore, on peut observer à hauteur de la Ravine Cimendal un énorme chaos rocheux, avec des blocs de plusieurs dizaines de m³, voire même quelques centaines de m³ de basalte. L'écroulement du Bronchard est certainement dû à l'affouillement progressif de sa paroi, par les eaux de crues de la Ravine Cimendal, très abondantes et très violentes en période cyclonique, par suite d'un bassin-versant de grande superficie.

Bien d'autres événements de ce genre ont dû se produire dans la Rivière des Galets ou ailleurs, mais on en observe plus les effets, la topographie des lieux se modifiant rapidement. Néanmoins, les vestiges d'un très ancien et très important glissement s'observe encore dans l'anse de Marla, au S.E. de la Plaine aux Sables.

Autant que l'on puisse préjuger de tels mouvements, généralement soudains et imprévisibles, les zones les plus sensibles à des désordres de grande ampleur sont les remparts du Cirque et les flancs des principales crêtes sur lesquels sont plaqués, soit des panneaux glissés, soit des brèches volcaniques venues mouler ces parois.

En résumé, l'érosion liée aux mouvements de masse, à travers les arrachements, les glissements, les écroulements ... se superpose en période de "crise cyclonique" à l'érosion des eaux superficielles. Il en résulte des processus dynamiques difficilement maîtrisables, créant ainsi des conditions désastreuses à l'intérieur du Cirque : ravinement des terres cultivables, destructions des sentiers, embâcles sur les ravines et inondations ...

2.3 - Identification et localisation

La reconnaissance à 1/25 000 du Cirque de Mafate et l'étude des photographies aériennes correspondantes permet de dresser une carte des principales formes d'érosion, exposées plus haut, mais en y apportant des nuances et des distinctions particulières.

On a d'abord représenté les masses de matériaux mobilisables par l'érosion (brèches, colluvions, éboulis ...) sans toutefois prétendre à l'exhaustivité et les principaux processus mobilisateurs qui peuvent être regroupés pour la circonstance, en deux grands ensembles, à savoir :

- les ravinements, arrachements, glissements, effondrements ... ou mouvements de terrain plus ou moins superficiels, anciens ou récents ;
- les mouvements profonds de grande ampleur soulignés par des lignes d'arrachements ou de décrochements structuraux.

2.3.1 - Les mouvements superficiels se répartissent en deux groupes :

- **les premiers** concernent tous les processus de ravinement, c'est-à-dire les entailles linéaires (ravinement concentré, rectiligne ...) ou hiérarchisées (zone de bad-lands ...). Ces formes d'érosion s'observent sur les deux versants de la Rivière des Galets, entre Cayenne et Marla, les zones de bad-lands étant très développées entre Le Bronchard et les Trois Roches, et en contrebas de Marla. Mais on les trouve également dans d'autres endroits, notamment au Piton Kichenin, à l'amont du Bras d'Oussy ;

- **les seconds** correspondent à des processus de mouvements de masse proprement dits, souvent difficiles à mettre en évidence, mais que l'on soupçonne grâce aux formes d'érosion semi-circulaires observées (petite niche d'érosion active, grande niche d'érosion localement active), et qui peuvent rappeler l'existence d'anciens glissements ou coulées, ou tout au moins des arrachements plus ou moins récents.

Affectant les dépôts meubles de brèches plus ou moins consolidées, ces mouvements se rencontrent essentiellement en bordure de la Rivière des Galets, de la confluence avec le Bras d'Oussy jusqu'à Marla à l'amont, mais aussi sur les versants occidentaux de la Plaine des Tamarins.

2.3.2 - Les mouvements profonds, de grande ampleur en revanche, sont plus difficiles à appréhender car, contrairement aux Cirques de Salazie ou de Cilaos, nous ne possédons à Mafate aucun exemple récent de ce type de mouvement. Les quelques indications que nous ayons sur l'écroulement historique du Bronchard (LAVAUX, 1983, p. 328) tendrait à montrer que le volume des matériaux mis en jeu (300 à 400 m³) était faible. Ce mouvement n'est donc pas de très grande ampleur, mais ses conséquences ont été désastreuses, puisqu'il est à l'origine de la disparition de l'Ilet de Mafate-les-Eaux et du village submergé par les eaux retenues par l'embâcle de la Rivière des Galets.

Seul témoin encore nettement observable aujourd'hui, le grand glissement-tassement de l'anse de Marla, dans la Rivière des Galets face à la Plaine aux Sables, témoigne d'un mouvement ancien important et volumineux et qui a repoussé vers le Nord, le cours de la rivière.

En dehors de ces deux événements et à partir de l'analyse des photos aériennes, on a donc indiqué des lignes d'arrachement ou de décrochement d'une certaine ampleur ainsi que des grands entonnoirs d'érosion qui pourraient être le lieu de mouvements importants affectant :

- **d'une part les remparts**, provoquant ainsi des écroulements rocheux, mais cette probabilité semble relativement faible ;

- **d'autre part les flancs** des principales crêtes contre lesquelles sont plaqués des panneaux glissés (flanc est de la crête des Orangers, crête des Calumets) ou bien même les rebords des replats structuraux sur lesquels sont implantés les îlets (Marla, la Plaine aux Sables). Dans ces deux cas, les matériaux étant meubles et hétérogènes, fracturés et désorganisés, les volumes mis en jeu seraient certainement plus importants que dans les remparts ;

- enfin dans la partie aval du Cirque, quelques zones suspectes se situent en rive droite du cours inférieur du Bras Ste Suzanne, et dans le rempart, en rive gauche de la Rivière des Galets, à l'aval immédiat des Deux Bras, au niveau de l'Ilet Cambour (760 mètres). A cet endroit, il semblerait qu'existe un vaste panneau anciennement effondré, et qui éventuellement pourrait être réactivé.

En résumé, et comme nous l'avions déjà laissé entendre, l'examen de la carte à 1/25 000 indique nettement l'opposition existant entre le secteur occidental du Cirque, avec une densité et une gamme de mouvements très variés et le secteur oriental moins érodé et moins disséqué par l'érosion.

2.4 - Degré de risque

En dehors du caractère inexorable de l'érosion qui fait dire aux paysans des Cirques, après chaque grosse pluie ou après chaque cyclone dévastateur que "leurs terres fondent à vue d'oeil", existe-t-il une possibilité d'embâcle majeure à travers l'un ou l'autre des cours d'eau drainant le Cirque de Mafate.

Cette possibilité existe en effet, puisque l'on considère que des écroulements importants à très importants sont susceptibles de se produire. Et quand nous savons, compte tenu de l'étroitesse de certaines gorges, que des éboulements de faible volume comme Le Bronchard sont capables de provoquer de sérieuses inondations, une telle éventualité doit donc être envisagée.

En fonction de la période d'apparition d'un tel évènement, il faut distinguer deux cas de figure :

- l'éboulement ou le glissement se produit au cours de l'année, dans des conditions de précipitations et d'écoulements normales : la retenue ainsi créée va évoluer plus ou moins rapidement et les dispositions à prendre (surveillance du barrage, évaluation des volumes d'eau, protection des zones menacées à l'amont comme à l'aval ...) le seront progressivement. Les dangers paraissent donc limités, puisqu'en dernière extrémité, ce barrage pourrait même être démantelé artificiellement ;

- l'évènement se produit au cours de précipitations exceptionnelles et prolongées, les terrains sont saturés d'eau et les écoulements dans les ravines sont importants. La mise en mouvement progressive d'un versant constitué de matériau meuble et fracturé, gorgé d'eau, peut se poursuivre dans le lit de la ravine par un écoulement type coulée de boue et de blocs ou lave torrentielle susceptible de transiter sur une certaine distance.

Compte tenu des pentes dans la Rivière des Galets, une coulée qui prendrait naissance aux environs de Marla pourrait éventuellement atteindre la cascade des Trois Roches. Dans la zone de Bronchard-Cayenne, elle pourrait se propager jusqu'à la confluence du Bras de Ste-Suzanne, mais difficilement dépasser ce point.

Dans ce cas, la rapidité du processus impose que soient prises avec diligence les mesures qu'exigent une telle situation.

En résumé, les risques liés à de grands éboulements dans la Rivière des Galets existent. En conséquence, les risques de submersion d'une partie du cours ne sont pas négligeables, soit par inondation de la partie amont du barrage, soit par suite de la rupture brutale dudit barrage. Mais il ne faut pas non plus exclure la possibilité d'embâcle des ravines affluentes, à partir de petits glissements et éboulements et ses effets néfastes sur l'environnement (végétation, boisement, cultures, sentiers ...).

3 - CONSEQUENCES SUR L'AMENAGEMENT ET L'ECONOMIE DU CIRQUE

C'est au sens très large du terme, que nous évoquerons ce sujet, car à l'inverse des autres Cirques qui comportent des pénétrations routières, le Cirque de Mafate n'est relié à l'extérieur que par des sentiers ou par l'hélicoptère. D'autre part, nous n'avons pas compétence pour traiter dans le détail de ces problèmes d'aménagement qui relèvent avant tout, dans le Cirque de Mafate, de l'Office National des Forêts (O.N.F.).

Les principales ressources des populations vivant sur les flets sont liées essentiellement à la pérennité des quelques terres agricoles et au développement du tourisme de randonnée -à côté d'une activité procurée par les services forestiers de l'O.N.F.-. Cela suppose donc une certaine conser-

vation et protection des terres contre l'érosion, et le maintien des sentiers et des liaisons, tant entre les différents flets, qu'avec l'extérieur, c'est-à-dire avec Salazie, Cilaos ou le littoral (Le Port, La Possession).

3.1 - Protection des terres cultivables

Elles se rencontrent à la surface des flets ou des quelques secteurs de pentes faibles, c'est-à-dire sur une très faible superficie, à peine 5 % du bassin, soit un total inférieur à 5 km². Et cette surface n'est-elle pas totalement mise en culture.

Le principe d'une telle protection pourrait se résumer ainsi :

- **enrayer le rétrécissement de la surface des flets**, qui sont, comme on la montré précédemment, fortement attaqués par l'érosion des versants et des talus limitrophes.

Ce sont le sapement et l'affouillement des ravines, à la base des versants, qui provoquent des affaissements et des glissements de berges, déstabilisant le sommet des talus. Mais des mouvements de plus grande ampleur sont également créés en période de pluies exceptionnelles, par la mise en charge de l'eau dans les versants, et le départ d'un volume important de matériau.

Ainsi les bordures des flets sont progressivement "rongés" par cette érosion inexorable et il est bien difficile ici, d'appliquer certaines mesures qui en d'autres lieux ont fait la preuve de leur efficacité (gabions, seuils empierrés à travers les ravines, petits barrages ...). Le bilan de l'érosion présenté dans les chapitres précédents, est tel que tous les facteurs (fortes pentes, matériaux hétérogènes, altitude, enfoncement des ravines, précipitations cycloniques), concourent à créer une situation difficilement maîtrisable, tant techniquement que financièrement.

- **réduire le ruissellement diffus** à la surface des flets, c'est-à-dire éviter que disparaisse le faible horizon pédologique permettant la croissance des cultures vivrières. Cet horizon est plus ou moins développé selon les secteurs et il faut le protéger contre les effets néfastes des eaux superficielles. Il faut, en effet, chaque fois que cela est possible, réduire la

lame d'eau ruissellée, en permettant l'infiltration sur de plus grandes surfaces ou bien encore piéger cette eau très rapidement, en la renvoyant dans un réseau de drainage insensible à l'érosion par ravinement concentré.

Mais il faut cependant veiller, en bordure des flets ou en tête de versants, à ne pas accumuler trop d'eau d'infiltration (cultures en banquettes par exemple) qui aurait pour conséquence d'induire des arrachements ou des glissements de talus. Un bon drainage superficiel des terrains, réduirait d'autant la mise en charge des eaux dans les versants, et de ce fait, les risques de mouvement.

3.2 - Maintien des sentiers

Ils sont remarquablement bien entretenus par l'O.N.F., qui, après chaque saison des pluies, doit les remettre en état par suite de coupures par éboulements, arrachements, érosion torrentielle ... Ces sentiers sont en effet vitaux pour la vie dans le Cirque, et ils deviennent depuis quelques années, l'occasion de découverte pour de nombreux randonneurs.

Les points les plus sensibles sont le passage des secteurs d'érosion en bad-lands (Marla ...), les cônes torrentiels, certaines zones d'éboulis dans les remparts, les berges immédiates des ravines ... Lorsque l'on connaît la violence de l'érosion et le tracé parfois vertigineux de quelques itinéraires, il est certain que ces sentiers sont l'objet d'un entretien constant de la part des agents de l'O.N.F., qui doivent parfois réouvrir de nouvelles liaisons, l'ancienne étant complètement détruite. C'est le cas par exemple du sentier de La Nouvelle à Grand Place (Cayenne), où la section entre le Cap Noir et le Bloc a été neutralisée par un grand éboulement : un nouveau tracé a dû être rétabli sur plus d'un kilomètre.

En résumé, le maintien d'une certaine activité agricole et touristique dans Mafate sera sans cesse confronté avec les problèmes d'érosion des terres qu'ils soient insidieux comme le lessivage des sols par les eaux superficielles ou plus spectaculaires comme les glissements, arrachements, coulées ... dans les versants et les talus des flets ou dans ceux dominant les ravines et la Rivière des Galets.

CONCLUSION GENERALE

Le Cirque de Mafate, comme Cilaos ou comme Salazie, s'inscrit dans une perspective de démantèlement total des formations détritiques qui tapissent le fond du bassin. Etant donné la vigueur des reliefs, l'important enfoncement du réseau hydrographique, les grandes surfaces ravinées, la très faible superficie des flets-témoins ..., il faut admettre que ce stade de destruction dans Mafate est déjà très avancé, davantage que dans les deux autres Cirques et notamment dans Salazie.

Toutefois, une observation plus détaillée conduit à établir une hiérarchie entre :

- d'une part le bassin proprement dit de la Rivière des Galets, à l'amont du Bras d'Oussy et de la Ravine Grand'Mère : ce secteur offre une très nette activité érosive qui se manifeste par des ravinements, arrachements, glissements ... et des zones fortement déchiquetées ;

- d'autre part le bassin du Bras Ste-Suzanne et du Bras d'Oussy, ainsi que les grands glacis au pied du Morne de Fourche : dans ces secteurs l'érosion est au contraire moins active et moins développée, et les zones de bad-lands sont par exemple beaucoup plus réduites.

En conséquence, à chaque "crise érosive" engendrée périodiquement par des précipitations de types cycloniques, on assiste à la réduction progressive des terres encore cultivables, chaque flet étant "rongé" en bordure par les ravinements et les mouvements de terrain ou bien "lessivé", en surface par les eaux de ruissellement, avec entraînement vers les ravines des terres arables. Cette érosion est particulièrement spectaculaire à l'amont et aux abords immédiats de la Rivière des Galets (Marla, Rocheplate, La Nouvelle, Grand Place ...), mais plus réduite pour les flets du N.E. (Ilet à Bourse, Ilet à Malheur ...).

A cette diminution progressive des "bonnes" terres qui assurent aux habitants de Mafate les quelques ressources culturelles dont ils font commerce, s'ajoute chaque année la coupure temporaire ou définitive de certains sentiers, qu'il faut sans cesse rétablir pour maintenir les liaisons à

l'intérieur comme à l'extérieur. Comme aucune pénétration routière ne dessert le Cirque, ces sentiers sont avec l'hélicoptère vitaux pour l'économie de Mafate.

Cette étude du Cirque de Mafate met un terme à la reconnaissance globale des risques géologiques à l'Ile de la Réunion, commencée en 1980 - et 1981 avec les Cirques de Salazie et Cilaos, poursuivie en 1984-1985 avec les grandes ravines des pentes externes de l'édifice volcanique, et bouclée en 1986 par ladite étude.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

ATLAS DES DEPARTEMENTS FRANCAIS D'OUTRE-MER (1975) - La Réunion, CNRS et IGN, Paris.

BILLARD G. (1974) - Carte géologique de la Réunion à 1/50 000. Doc. BRGM, notice explicative et 4 cartes couleurs hors texte.

CALICHIAMA C., GRUCHET J. (1983) - Inventaire des mouvements de terrain à la Réunion depuis 1718 d'après les recherches d'archives. Rapport BRGM 83 REU 20, déc. (inédit).

DEFOS DU RAU J. (1979) - Le relief de l'Ile de la Réunion : étude de morphologie volcanique. Institut géographique Bordeaux, thèse complémentaire, Lettres, 320 p.

HUMBERT M., PASQUET R., STIELTJES L. (1981) - Les risques géologiques dans les Cirques de Salazie et de Cilaos (Ile de la Réunion). Rapport BRGM-FIDOM, 81 SGN 543 REU, oct., 101 p., 2 cartes 1/25 000 hors texte.

HUMBERT M., avec la coll. de ALLIEZ V., STIELTJES L. (1985) - Les systèmes érosifs des grandes ravines "au vent" à l'Ile de la Réunion : leurs conséquences sur l'aménagement du littoral et des Hauts. Rapport BRGM-Dir. Séc. Civ., 85 SGN 121 GEG, vol.I, juillet, 72 p., 3 cartes 1/25 000 hors texte (inédit).

HUMBERT M., avec la coll. de ALLIEZ V., STIELTJES L. (1986) - Les systèmes érosifs des grandes ravines "au vent" à l'Ile de la Réunion : leurs conséquences sur l'aménagement du littoral et des Hauts. Rapport BRGM-Dir. Séc. Civ., 86 SGN 132 GEG, vol. II, mars, 62 p., 2 cartes 1/25 000 hors texte (inédit).

LAVAUX C. (1983) - La Réunion : du battant des lames au sommet des montagnes. Ed. Cormorans, Saint-Gilles-les-Bains, 493 p., 2ème édit.

STIELTJES L., ROBERT D. (1981) - Analyse structurale de l'Ile de la Réunion. Implications morphologiques, géologiques et géothermiques. Synthèse sur l'évaluation du potentiel géothermique de l'Ile de la Réunion. Rapport BRGM (inédit).

STIELTJES L. (1984) - Endiguement de la Rivière des Galets : sensibilité à l'érosion et aux mouvements de terrain dans le Cirque de Mafate (bassin-versant de la Rivière des Galets). Rapport BRGM, 84 REU 04, janvier, 1 carte 1/25 000 hors texte.

1984 - Monographie du bassin-versant de la Rivière des Galets. Rapport SOGREAH-BRGM n° 361 961 r, novembre, 1 carte 1/25 000 hors texte (inédit).

ANNEXE 1

QUELQUES EVENEMENTS HISTORIQUES SURVENUS DANS MAFATE
(D'APRES RECHERCHES D'ARCHIVES)*

* EXTRAIT DU RAPPORT BRGM 83 REU 20

LIEU OU COMMUNE	NATURE DU PHENOMENE	DATE DE L'EVENEMENT	LOCALISATION ET DESCRIPTION SOMMAIRE	EFFETS, DEGATS	ORIGINE	REFERENCES, SOURCES
Mafate	Inondation Eboulement	fév. 1872	"Les rampes de l'Egréné ont disparu presque complètement, comblées ou démolies. Les petites ravines de Bloc ont enlevé les remblais. Les rampes de la Plaine des Sables ont été enlevées, en partie comblées".	"Le chemin dans le lit de la rivière a été presque partout emporté (5 km). Le passage de la ravine avant Bloc n'existe plus, ainsi que les rampes sur les deux rives. La route à l'entrée de Mafate s'est effondrée sur plusieurs points et notamment à la source de Cimendal dont la voûte en cédant a emporté et creusé le petit radier".	ouragan de février	2 W 1
Mafate	Inondation	15 jan. 1878	Eboulis sur le chemin de Mafate à partir de la Grande Place (15ème km).	"Chemin impraticable avec des éboulis qui se sont produits".	cyclone de 1878	2 W 6
Mafate	Eboulement	mars 1879		"Au Cap Noir, la route est complètement interrompue par les éboulis".	ouragan	2 W 7
Mafate	Inondation Eboulement	fév. 1930	"Les ravines roulent des torrents d'eau. Des éboulis se sont produits dans toute l'étendue du cirque. L'eau a tout envahi".	Route emportée par les ravines. "La source sulfureuse a été ensevelie, l'école a été encadrée de telle sorte par un ébouli qu'on ne peut ni entrer, ni sortir. Sur le plateau de Grande Place, des cases ont disparues sous terre, les maisons inondées se sont effondrées. Des sources apparaissent à l'intérieur des champs. Les habitants sont restés avec l'eau à mi-jambe pendant 3 jours, sans aucune nourriture. Toutes les plantations ont été emportées ou ensevelies sous de nombreux éboulis".	pluies de cyclone	le peuple 1930 1 PER 81
Mafate	Eboulement	31 juillet 1958	"Un éboulement important s'est produit au lieu dit Belle de Mafate, quartier du Bloc dans le cirque de Mafate".	"La rivière des Galets a été barrée par cet éboulement. Un lac s'est formé de 125 m de long, 30 m de large et 10 m de profondeur. Le sentier habituel du cirque ne peut plus être fréquenté".		1 PER 94/8

PRINCIPALES FORMES D'ÉROSION SUPERFICIELLE ET PROFONDE DANS LE CIRQUE DE MAFATE (ÎLE DE LA RÉUNION)

Echelle : 1/25 000



Rapport B.R.G.M. n° 86 SGN 173 GEG :
L'érosion dans le cirque de MAFATE (ÎLE DE LA RÉUNION) :
ses conséquences sur le maintien de l'économie des îlets
1 carte à 1/25 000 par M. HUMBERT et L. STIELTJES

Par M. HUMBERT et L. STIELTJES
Maquette établie en 1986

