



HAL
open science

Etude geologique des formations superficielles et du proche substratum à Grand Ilet (cirque de Salazie - La Réunion) application a la cartographie du risque de mouvements de versants

Herve Pinchinot

► **To cite this version:**

Herve Pinchinot. Etude geologique des formations superficielles et du proche substratum à Grand Ilet (cirque de Salazie - La Réunion) application a la cartographie du risque de mouvements de versants. Géologie appliquée. Université Scientifique et Médicale de Grenoble, 1984. Français. NNT: . tel-00679334v2

HAL Id: tel-00679334

<https://theses.hal.science/tel-00679334v2>

Submitted on 3 Sep 2013

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



PINCHINOT (H.)

INSTITUT DE RECHERCHES INTERDISCIPLINAIRES DE GÉOLOGIE ET DE MÉCANIQUE

THÈSE

présentée à

L'UNIVERSITÉ SCIENTIFIQUE ET MÉDICALE DE GRENOBLE

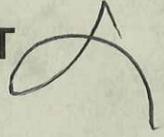
26 OCT. 1984

pour obtenir le titre de

DOCTEUR DE 3^e CYCLE DE GÉOLOGIE APPLIQUÉE

par

UNIVERSITE DE GRENOBLE 1
INSTITUT DE GEOLOGIE
DOCUMENTATION
RUE MAURICE-GIGNOUX
F 38031 GRENOBLE CEDEX
TEL. (76) 87.46.43

Hervé PINCHINOT 

SUJET

ÉTUDE GÉOLOGIQUE DES FORMATIONS SUPERFICIELLES
ET DU PROCHE SUBSTRATUM A GRAND ILET
(CIRQUE DE SALAZIE - LA RÉUNION)
APPLICATION A LA CARTOGRAPHIE DU RISQUE DE MOUVEMENTS DE VERSANTS

Soutenue le 12 octobre 1984 devant la Commission d'Examen

- | | |
|------------------|------------|
| M. P. VIALON | Président |
| M. P. ANTOINE | Rapporteur |
| M. M. HUMBERT | |
| M. L. STIELTJES | Invités |
| M: J. LETOURNEUR | |

GRENOBLE

tel-00679334, version 1 - 15 Mar 2012

THÈSE

présentée à

L'UNIVERSITÉ SCIENTIFIQUE ET MÉDICALE
DE GRENOBLE

pour obtenir le titre de

DOCTEUR DE 3^e CYCLE DE GÉOLOGIE APPLIQUÉE

par

Hervé PINCHINOT

UNIVERSITE DE GRENOBLE
INSTITUT DE GEOLOGIE
DOCUMENTATION
RUE MAURICE-GIGNOUX
F 38031 GRENOBLE CEDEX
TEL. (76) 87.46.42

26 OCT. 1984

S U J E T

**ÉTUDE GÉOLOGIQUE DES FORMATIONS SUPERFICIELLES
ET DU PROCHE SUBSTRATUM A GRAND ILET
(CIRQUE DE SALAZIE - LA RÉUNION)**

APPLICATION A LA CARTOGRAPHIE DU RISQUE DE MOUVEMENTS DE VERSANTS

Soutenu le 12 octobre 1984 devant la Commission d'Examen

M. P. VIALON	Président
M. P. ANTOINE	Rapporteur
M. M. HUMBERT	
M. L. STIELTJES	Invités
M. J. LETOURNEUR	

GRENOBLE

10088820

MON ÎLE

(J. Farneyrol)

Mon île,
Tu n'es pas comme les autres îles,
Tu ne viens pas d'une famille d'îles
Aux plages de palmiers.
Pas de filles aux colliers de fleurs
Pour touristes en peine de cœur
A l'ombre de tes cocotiers.

Mon île,
Tu n'es pas la carte postale
Pour ces vacances idéales,
Près des lagons de sables d'or.
Tu as choisi comme ceinture
De hautes falaises, blessures
Où l'océan gronde et fort
Le long des côtes sauvages.
Le charme fou des paysages,
Et des vacanciers insolents
Jouant de la houle et des vents,
Laisse au voyageur de passage
Une singulière image
Née de bleu, de noir, de blanc,
De soleil or, et rouge sang.

Mon île,
Tu n'es pas la fille facile
Parée de fresques inutiles,
Sans un sou d'amour dans le cœur,
Tu as choisi la pureté
Et tu caches bien ta beauté
Au fond des cirques où bat ton cœur.

Mon île,
Tu n'es pas l'île enchantée
Qu'on fait miroiter dans la presse,
Aux riches, des riches pays.
Pour te protéger des ravages
Tu as donné à tes villages
Le nom des saints du Paradis.
Mais du haut de tes montagnes,
Quand la colère te gagne,
Tu vomis des fleuves de sang
Que tu rejettes à l'océan.
Et puis tu redeviens sage,
Tu t'endors dans tes nuages
Et de longues années durant
Tu berces ton sommeil d'enfant.

Mon île,
Tu as réuni dans ton cœur
Des gens de toutes les couleurs
Comme un défi au monde entier.
Pour le pire et le meilleur
Tu as choisi comme âme sœur
Le pays de la liberté.

Mon île,
Quand du soir au petit matin
Sous la fraîcheur des tamarins
Ton peuple se met à danser
Au rythme lent des maloyas,
Au son des tam-tan du séga,
C'est comme pour te remercier.
Et du fond de ma mémoire
Les lourdes pages de l'histoire
Auront beau me rappeler
La douleur de ton passé,
Malgré les pires passages
Mon plus beau livre d'images
C'est celui qui porte ton nom,
Mon île de la Réunion.

A V A N T - P R O P O S

Au terme de ce travail, je tiens à adresser mes remerciements à :

Monsieur VIALON qui m'a fait l'honneur d'accepter la présidence du Jury,

Monsieur ANTOINE qui m'a accueilli dans son équipe et permis de réaliser cette thèse. En souvenir des "petites araignées" rencontrées au détour des ravines de Grand Ilet.

Monsieur HUMBERT qui m'a toujours réservé le meilleur accueil au département Génie Civil du BRGM.

Monsieur STIELTJES qui m'a permis de disposer d'excellentes conditions de travail au Service Géologique de la Réunion. Les discussions que nous avons eu tant au bureau qu'en balade dans les cirques m'ont toujours beaucoup apporté.

Monsieur LETOURNEUR dont le mérite dans la réalisation de ce travail ne saurait se limiter au rôle d'obstétricien qu'il veut bien s'accorder.

J'exprime également ma reconnaissance au personnel du SGR Réunion, Dany, Michel et les autres ainsi qu'aux chercheurs et techniciens de l'I.R.I.G.M. pour leur aide et à Isabelle pour la frappe.

Enfin, je ne peux oublier mes camarades thésards Jean-Luc, Tintin, Jean-Roger, Michel et Marc qui ont consacré de nombreuses heures à la mise en forme finale de ce mémoire.

Le dernier mot sera pour Alice.

S O M M A I R E

Univ. J. Fourier - O.S.U.G.
MAISON DES GÉOSCIENCES
DOCUMENTATION
B.P. 53
F. 38041 GRENOBLE CEDEX
Tél. 04 76 63 54 27 - Fax 04 76 51 40 58
Mail : ptalour@ujf-grenoble.fr

01 SEP. 2003

INTRODUCTION

PREMIERE PARTIE

- I. *Cadre générale de l'étude*
- II. *Présentation de Grand Ilet et des problèmes de mouvements de terrain*
- III. *Cyclones et données hydrométéorologiques*
- IV. *Les éléments géologiques*
- V. *Etude statistique des ravines du cirque de Salazie*

DEUXIEME PARTIE

Les données géologiques

TROISIEME PARTIE

Les mouvements de terrain

QUATRIEME PARTIE

La stabilité des terrains dans le secteur de Grand Ilet

CONCLUSION

ANNEXES

BIBLIOGRAPHIE

TABLE DES MATIERES

I N T R O D U C T I O N

A la Réunion, les calamités naturelles se manifestent fréquemment tant et si bien qu'elles font presque partie de la vie courante. Les cyclones, par exemple, reviennent chaque année, certains prenant périodiquement des proportions catastrophiques, par leur activité propre ou par des phénomènes induits. Ce fut le cas du cyclone "Hyacinthe" (janvier 1980) à la suite duquel il parut nécessaire d'entreprendre une étude systématique des risques engendrés par ce type de phénomènes, et en particulier de tous ceux concernant les mouvements du sol. Des crédits exceptionnels du FIDOM permirent de réaliser l'étude concernant les cirques de Salazie et Cilaos, qui constituent des zones très sensibles et largement habitées. Un premier inventaire fut dressé dans un rapport intitulé : "Les risques géologiques dans les cirques de Salazie et de Cilaos (Ile de la Réunion)" paru en 1981. Cet état des lieux a mis en évidence de très nombreuses manifestations de mouvements de terrain de toutes natures. L'étape suivante imposait donc d'en déterminer l'origine et les processus évolutifs, afin d'aboutir à la compréhension des mécanismes en cause.

C'est l'objet du présent mémoire, entrepris dans le cadre du Service Géologique de l'Océan Indien (BRGM), avec le concours financier de la commission CORDET (Ministère de l'Industrie et de la Recherche, Secrétariat au DOM-TOM) au cours du séjour accompli dans l'île comme Volontaire à l'Aide Technique (VAT). La complexité des données susceptibles d'intervenir nous a conduit à choisir un secteur géographique restreint, afin de le traiter avec le plus de précision possible. Nous exposerons par la suite (Première Partie) les raisons de ce choix.

Ce mémoire comporte plusieurs parties :

La première est une présentation générale du secteur de travail dans le contexte géographique et géologique de l'île de la Réunion. Les raisons du choix de Grand Ilet y sont exposées. En dernier lieu, les résultats d'une analyse statistique systématique des directions de ravines sont présentés.

La deuxième partie est l'étude géologique détaillée des formations de Grand Ilet. Elle conduit à la définition de l'unité intermédiaire qui est caractérisée par des glissements de grande ampleur.

La troisième partie concerne des mouvements de terrains plus superficiels mais qui sont responsables de dégâts importants. On insiste sur le rôle des précipitations cycloniques dans leur évolution.

Enfin, la quatrième partie tente de faire un bilan des conditions d'instabilité et permet de proposer un zonage du secteur adapté au contexte volcano-détritique et au climat tropical.

P R E M I E R E P A R T I E

PREMIERE PARTIE

I. CADRE GENERAL DE L'ETUDE

1. Situation géographique

La Réunion est une île volcanique située dans l'Océan Indien occidental, à 800 km à l'Est de Madagascar, par 21°7' de latitude sud et 55°32' de longitude est. Elle forme, avec les îles Maurice et Rodrigue, l'archipel des Mascareignes (figure 1.1).

Bien que située à l'extrémité sud-ouest de la crête des Mascareignes, qui s'étend des Seychelles à Maurice, elle repose, isolée sur un plancher océanique situé à 4 000 mètres de profondeur.

De forme elliptique, son grand axe présente une orientation nord-ouest - sud-est et mesure 70 kilomètres. L'axe transverse en mesure 50. La superficie de l'île est de 2 512 km² pour un périmètre côtier de 210 kilomètres.

Elle est constituée de deux massifs volcaniques. Celui du Piton des Neiges, dépourvu d'activité depuis 20 000 ans, est le plus ancien ; il occupe les deux tiers nord-ouest et culmine à 3 069 mètres. Celui du Piton de la Fournaise, encore actif, est le plus récent ; il occupe le tiers sud-est et culmine à 2 631 mètres. Ces deux massifs constituent la partie émergée d'un vaste complexe volcanique dont le diamètre, à 4 000 mètres de profondeur, est de plus de 200 kilomètres (figures 1.2 et 1.3).

La Réunion est française depuis 1642 et a été érigée en département par la loi du 10 mars 1946.

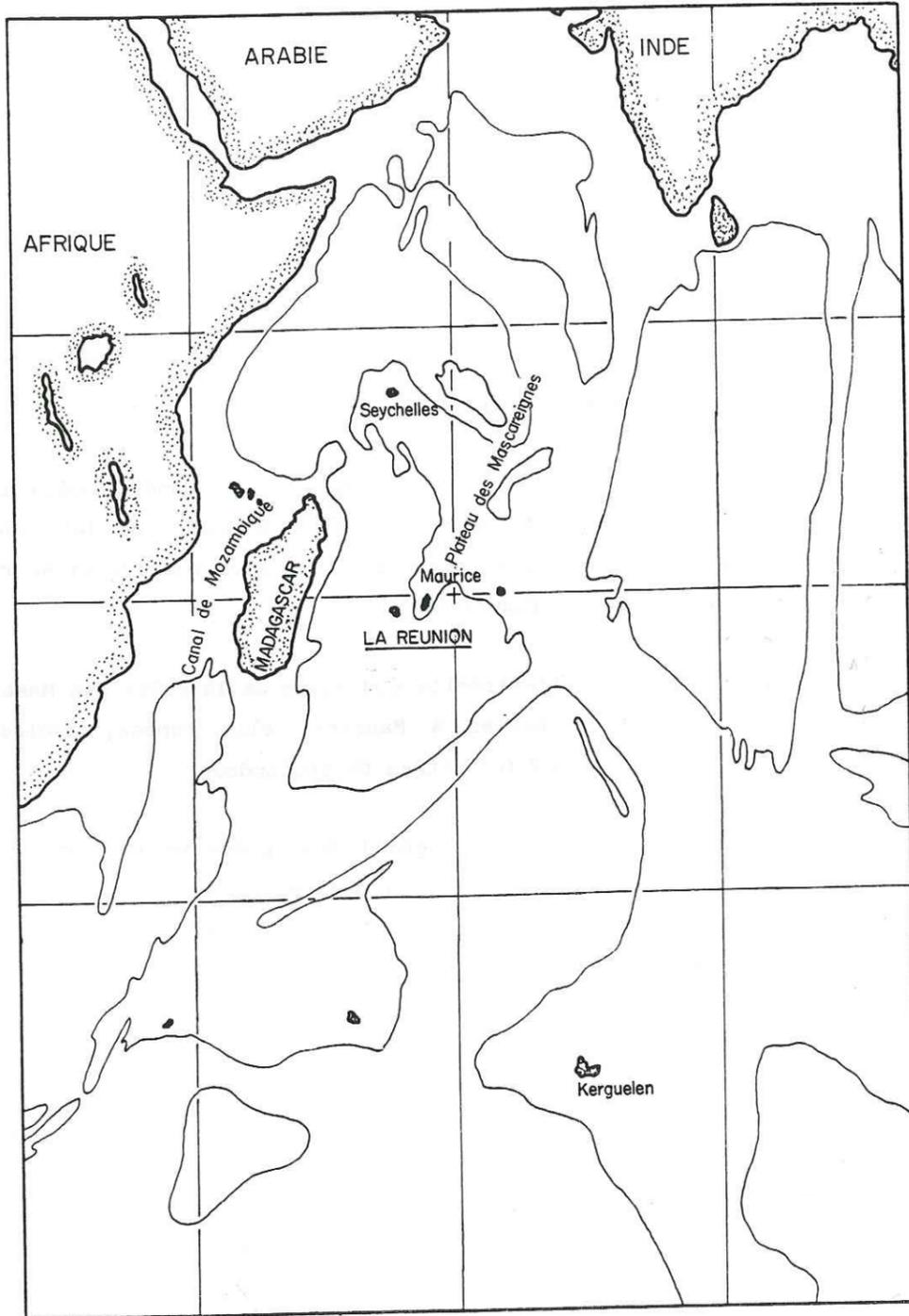


Figure 1.1. - Carte de l'Océan Indien occidental
isobathe- 4 000 m -

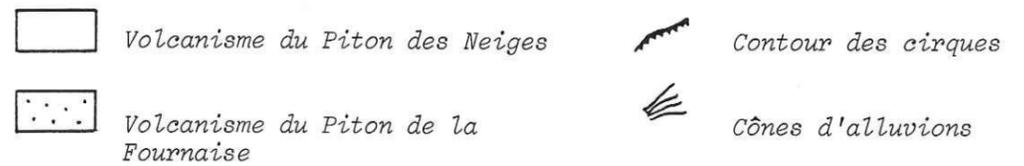
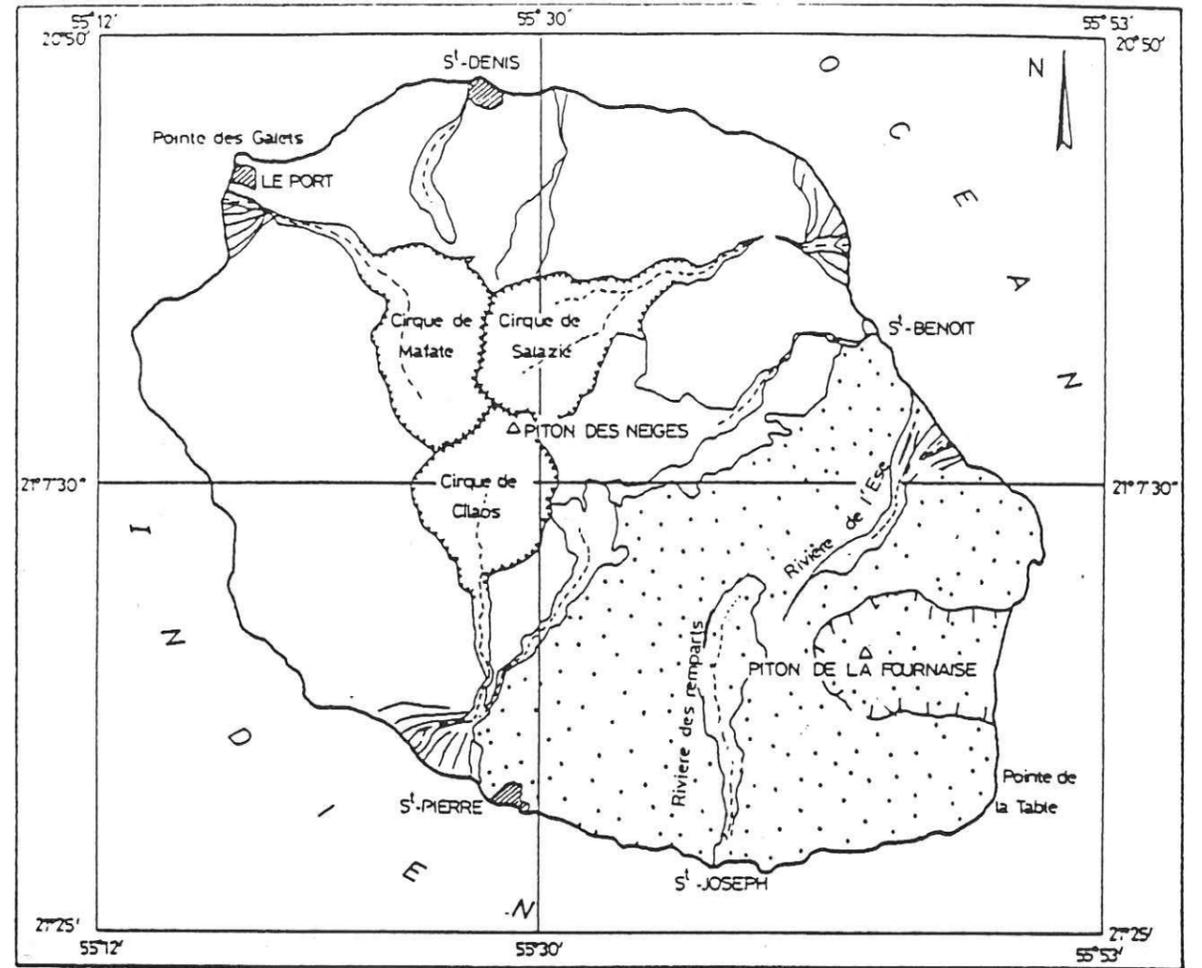


Figure 1.2. - Schéma physiographique de la Réunion

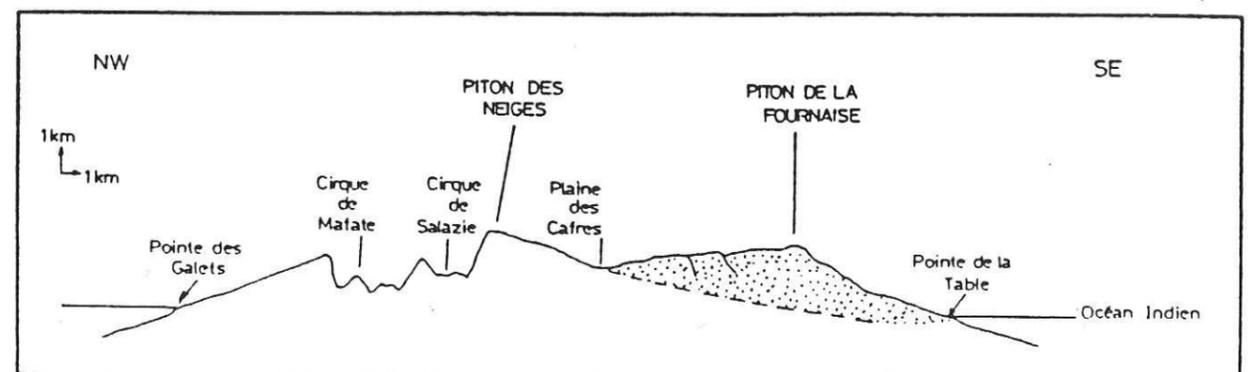


Figure 1.3. - Coupe schématique de l'île

tel-00679334, version 1 - 15 Mar 2012

2. Grands traits du relief

Si l'on reconstitue la géométrie de sa forme initiale, le Piton des Neiges a été un cône régulier de 50 km de diamètre, dont les flancs sont inclinés de 5 à 10° vers l'océan. Mais sa zone centrale est profondément entamée par trois vastes dépressions accolées aux parois subverticales ("les remparts") dépassant 1 000 mètres par endroits. Mafate au Nord-Ouest, Cilaos au Sud et Salazie au Nord-Est. Entre elles, les dépressions laissent subsister des crêtes étroites et déchiquetées qui, dans la zone centrale où elles se rejoignent, portent les deux points culminants du massif, le Piton des Neiges et le Gros Morne, relique de l'ancienne pointe du cône.

Les cirques sont défoncés par de profondes ravines, qui les divisent en de nombreux replats plus ou moins inclinés, les filets. Chaque cirque ne comporte qu'un seul exutoire vers la mer, constitué par des gorges profondes qu'empruntent les rivières principales : le Bras Rouge (Cilaos), La Rivière des Galets (Mafate) et la Rivière du Mat (Salazie). D'autres ravines entaillent les flancs externes du massif sans atteindre les cirques. On peut citer la Rivière des Marsouins, qui draine la plaine des Marsouins, vaste dépression à fond plat envahie par des laves récentes, que certains auteurs interprètent comme le vestige d'un quatrième cirque.

Les trois rivières qui drainent les cirques ont déposés d'énormes quantités d'alluvions à leur embouchures formant de vastes plaines alluviales deltaïques.

3. Le cadre climatique

La Réunion est soumise à un climat tropical. L'hiver, de mai à novembre, constitue la période la plus sèche pendant laquelle soufflent essentiellement les alizés du Sud-Est. L'été, de décembre à avril, constitue la saison cyclonique, chaude et plus humide. Les dépressions tropicales et autres cyclones proviennent surtout du Nord-Est (figure 1.4).

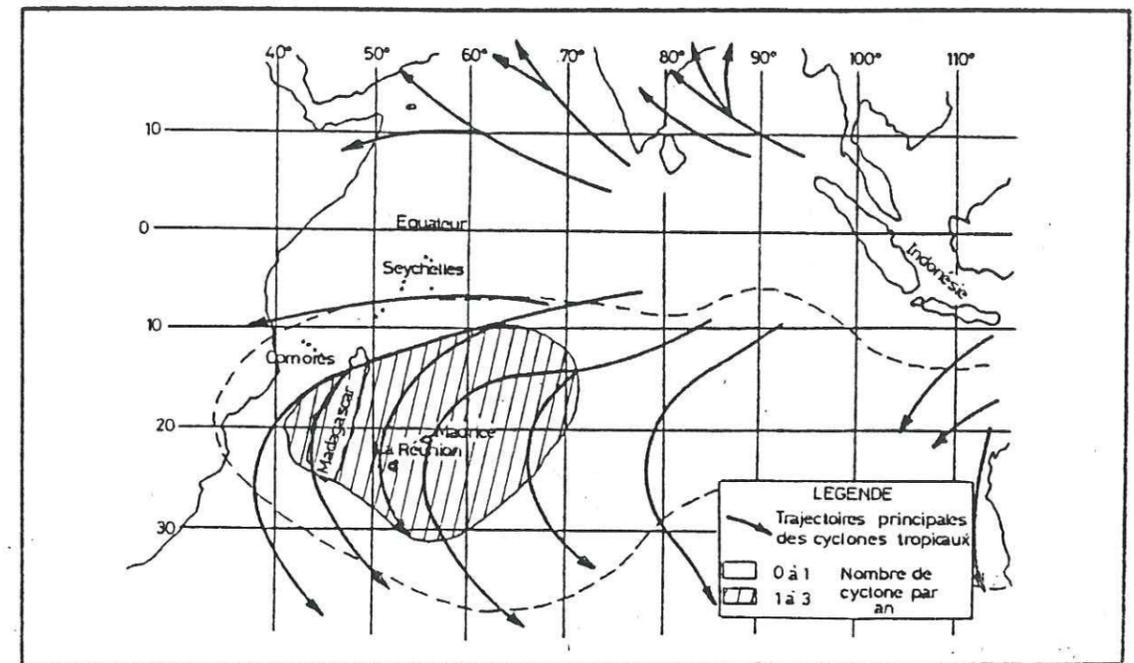


Figure 1.4. - Carte des principaux courants atmosphériques (d'après Münchener Rück, 1980)

Tout au long de l'année, les vents dominants viennent de l'Est, ce qui explique la division de l'île en deux zones dont le climat est fondamentalement différent : la région dite au vent, au Nord et à l'Est, connaît des précipitations abondantes ou très abondantes, tandis que dans la région sous le vent, au Sud et à l'Ouest, celles-ci sont moyennes ou faibles.

Les écarts de température d'une saison à l'autre sont relativement faibles, en particulier pour les secteurs d'altitude inférieure à 1 000 mètres. Ceci concerne la température de l'air. On verra par la suite que les variations de température à la surface du sol sont beaucoup plus amples.

II. PRESENTATION DE GRAND ILET ET DES PROBLEMES DE MOUVEMENTS DE TERRAIN

1. Localisation géographique et définition

Les filets sont, nous l'avons vu, des plates-formes généralement

peu étendues et très isolées, car elles débouchent d'une part sur des ravins et sont dominées de l'autre par des falaises (planche 1)

Le secteur étudié regroupe sept îlets principaux échelonnés entre le Piton Bé Massoune et le Grand Sable, en rive gauche de la rivière Fleurs Jaunes. Du Nord-Est au Sud-Ouest, ce sont successivement Bé Cabot, Mare à Martin, Mathurin, Roche à Jacquot, Grand Ilet s.s. , Le Bélier et Camps de Pierrot.

Grand Ilet étant le centre habité le plus important, nous nous servirons de ce nom pour désigner l'ensemble du secteur, tandis que l'expression Grand Ilet s.s. sera réservée à la localité.

2. Occupation des sols et développement

La colonisation des cirques a débuté au XIXème siècle avec l'abolition de l'esclavage. En effet, les Blancs peu fortunés ont alors abandonné la côte, pour fuir une situation socio-économique comparable à celle des Noirs émancipés. Dès le début de leur installation, ils ont reconnu la fragilité des sols et ont constaté que la culture sur brûlis ou tout autre mode de défrichement augmentait cette fragilité en déclenchant des phénomènes d'érosion pratiquement impossibles à maîtriser.

C'est pourquoi dès 1939 un arrêté fixait les limites du domaine public de manière à assurer l'entretien des zones les plus exposées.

"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 mètres au-delà du bord, des sources et de leur alimentation, des étangs, des pitons et pentes de plus de 45°, pour y interdire tout déboisement et empêcher ainsi la ruine des sols par l'érosion. Les pentes entre 30 et 45° ne pourraient être défrichées qu'à condition d'y planter dans l'année des caféiers ou autres arbustes" .

tel-00679334, version 1 - 15 Mar 2012



Planche 1 - Carte topographique du cirque de Salazie.- Localisation du secteur d'étude (---).

Malgré cette volonté précoce de prévention, la situation ne fera ensuite que se dégrader. Dès le début, la population des cirques augmente régulièrement entraînant une surexploitation permanente de la moindre parcelle.

Bien que l'exode vers les villes côtières ait arrêté depuis quelques années la croissance démographique dans les cirques, la fragilisation des sols a continué de croître. L'époque récente, marquée par l'exode rural, l'est aussi par une mécanisation incontrôlée. Le premier a libéré de nombreuses parcelles, qui sont laissées à l'abandon sans qu'aucune action de reboisement ne soit entreprise s'agissant le plus souvent de terrains privés. D'autre part, si la mécanisation individuelle des agriculteurs, faible et même probablement insuffisante, ne présente guère de danger, les opérations de remodelage et de défrichage menées par la RDM (Régie de Mécanoculture) peuvent être au contraire extrêmement néfastes. L'usage du buteur permet d'éliminer les nombreux blocs rocheux qui parsèment les champs ainsi que tous les arbres et arbustes gênants, mais on ne se soucie guère de l'effet des violentes précipitations tropicales sur les terrains ainsi dénudés. Cela ne veut pas dire qu'il faille renoncer aux travaux d'épierrage mais qu'ils doivent être menés selon quelques règles simples déjà maintes fois énoncées. De même, on peut affirmer que, dans une certaine mesure, la création, depuis une vingtaine d'années, de routes et de chemins carrossables, a été un facteur de déstabilisation.

Actuellement, le plan d'aménagement des "Hauts" tend à fixer la population et à favoriser une relance de l'activité humaine et économique dans les cirques.

Par ailleurs, le désir de sécurité vis-à-vis des risques naturels augmente considérablement, alors que la connaissance traditionnelle du terrain s'estompe, et que les mesures préventives individuelles disparaissent. Tout ceci montre donc la nécessité et l'urgence d'une intervention dont les principes soient sérieusement étayés.

3. Evolution récente des menaces d'instabilité

Les mouvements de terrain sont fréquents dans les cirques ainsi que dans d'autres secteurs de l'île mais il existe des périodes de crise évidemment liées aux crises climatiques. La saison cyclonique est à plus haut risque que la saison sèche et le risque croît encore lorsqu'une dépression cyclonique ou un cyclone affecte directement le territoire de la Réunion.

Hyacinthe, le cyclone exceptionnel de 1980 a tragiquement illustré cette évidence.

D'autre part, un point important doit être souligné : si l'augmentation de la fréquence des mouvements coïncide avec l'arrivée du cyclone, le retour à la normale ne coïncide jamais avec son départ. En effet, bon nombre de terrains sont déstabilisés et se retrouvent en position d'équilibre extrêmement précaire. La plupart des ruptures se produisent bien pendant le maximum de la crise climatique, mais certaines n'apparaissent que dans les semaines voire les mois qui suivent. Dans les cas les plus graves, la dégradation des conditions d'équilibre est si importante que l'on peut affirmer qu'on ne retrouve jamais les conditions antérieures : il y a fragilisation. Par la suite, des crises climatiques moins violentes suffiront à déclencher des mouvements préjudiciables à l'activité humaine.

Les phénomènes de ravinement constituent un bon exemple de cela. Un terrain incliné mais de pente uniforme assure facilement l'écoulement diffus et l'infiltration de la lame d'eau précipitée, l'érosion et l'entraînement des éléments du sol n'apparaissant que tardivement, par un début de concentration des eaux qui crée quelques rigoles. Lors de l'épisode cyclonique suivant, ces rigoles vont entraîner une concentration très rapide du ruissellement, déclenchant l'érosion, même pour des volumes d'eau plus faibles. Ce phénomène s'observe facilement sur le terrain et cela à toutes les échelles : à la Réunion, il est spectaculaire et omniprésent. La profondeur des rigoles varie de quelques centimètres à plusieurs mètres et l'on parle de ravines.

Le ravinement est superficiel, mais il existe aussi une déstabilisation et une fragilisation profondes du massif. Lorsque des fissures s'ouvrent dans le sol, elles deviennent des voies de pénétration préférentielles pour les eaux qui se mettent alors en charge en profondeur. A partir de là, c'est le glissement de panneaux de plusieurs milliers de m³ qui peut survenir.

Dans les pages suivantes nous décrivons certaines conséquences du cyclone "Hyacinthe". Elles ont été catastrophiques. A Grand Ilet, les effets en sont visibles sous la forme de modifications de la topographie. Ceci est manifeste lorsque l'on compare les photographies aériennes de 1978 à l'état actuel. Les pertes ont été considérables, tant pour l'agriculture que pour les biens d'équipement : habitations, routes, lignes téléphoniques et électriques détruites.

Enfin, la surface des zones sensibles (zones à risques) a augmenté.

Par ailleurs, il faut signaler que le secteur de Grand Ilet, et Grand Ilet s.s. plus particulièrement, présente une convergence d'éléments défavorables :

- le cirque de Salazie s'ouvre vers l'Est-Nord-Est sur la côte au vent. Il se présente ainsi comme un cul-de-sac où les vents dominants poussent des masses nuageuses considérables arrêtées par les remparts ouest. La lame d'eau reçue est donc anormalement élevée. Le cirque de Mafate récupère l'excédent, ce qui fait que la côte ouest est très sèche.
- la topographie du secteur se caractérise par l'alternance de petits plateaux et de gorges profondes, séparés par des pentes raides. Grand Ilet s.s. présente une surface bosselée et irrégulière qui ne favorise pas l'évacuation des eaux pluviales. On trouve même un certain nombre de dépressions fermées sans exutoire naturel en arrière des

ruptures de pentes qui limitent le plateau. On verra par la suite l'importance de leur rôle,

- un facteur péjoratif, qui n'est pas seulement propre à Grand Ilet, est le fait que les terrains volcaniques, constitués d'alternances de coulées et de scories, sont peu consolidés. Mais s'ajoute ici une structure générale qui met ces terrains plutôt en aval-pendage, ce qui n'est pas de nature à améliorer leur tenue.

4. Nécessité de la prévention

Les facteurs défavorables précédemment énumérés prennent toute leur importance quand on sait que Grand Ilet est fortement peuplé et que l'agriculture y est pratiquement la seule activité économique. L'habitat très dispersé conduit à l'exploitation de secteurs sensibles aux mouvements de terrain. Ces conditions se retrouvent dans tous les "Hauts" de la Réunion. Dès lors, il est nécessaire de cerner au mieux l'origine des risques pour définir des moyens de prévention et d'alerte efficaces et raisonnablement applicables.

L'ensemble des conditions défavorables que nous venons d'évoquer nous a conduit à choisir le secteur de Grand Ilet comme terrain de recherche privilégié pour l'étude des mouvements de terrain. Il faut souhaiter qu'à l'avenir, ce type d'étude puisse être étendu à l'ensemble des "Hauts" et aboutisse à une amélioration réelle de la sécurité des biens et des personnes.

III. CYCLONES ET DONNEES HYDROMETEOROLOGIQUES

1. Définition

Le cyclone est une tempête caractérisée par un mouvement giratoire, convergent et ascendant de l'air, qui déferle violemment

d'une zone périphérique, où la pression est élevée, vers une zone centrale en dépression. La force du vent qui en résulte est fonction du gradient barométrique entre ces deux zones.

La distinction entre cyclone et simple dépression tropicale repose sur la vitesse du vent et l'apparition ou non d'un "oeil" au centre de la zone dépressionnaire. Le diamètre de la perturbation varie de 200 à 500 km et la vitesse de son déplacement entre 15 et 35 km/h. Mais le vent lui-même peut aisément dépasser 200 km/h. Quant aux précipitations associées, elles sont, dans les deux cas, généralement très abondantes.

2. Trajectoire et durée

Le cyclone Hyacinthe fut exceptionnel par le volume des précipitations qu'il entraîna et la durée de son emprise sur la Réunion (11 jours). Cette dernière s'explique par une trajectoire très capricieuse qui amena trois fois la dépression à proximité de l'île (figure 1.5).

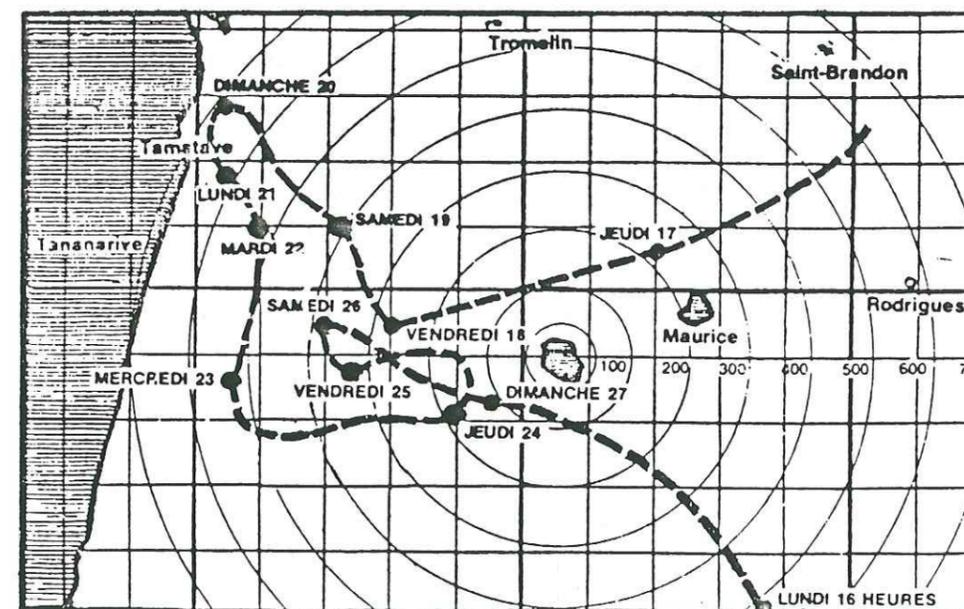


Figure 1.5. - Trajectoire du cyclone Hyacinthe du 17 au 28 janvier 1980

tel-00679334, version 1 - 15 Mar 2012

3. Esquisses hydrométéorologiques des effets du cyclone Hyacinthe

Les données présentées sont tirées d'une étude effectuée par le Service de l'aménagement hydraulique de la Direction Départementale de l'Agriculture de la Réunion en février 1980 et d'un rapport de M. Duret (1982).

Les données sur les précipitations sont abondantes, car les enregistrements sont effectués depuis de nombreuses années par plus de 200 stations des services de la météorologie nationale.

En revanche, les débits de crue sont mal connus car peu de cours d'eau sont équipés d'appareils de mesure. Toutefois, des estimations sérieuses ont pu être effectuées à partir des relevés concernant les cours d'eau qui doivent faire l'objet d'aménagements (retenues collinaires, hydroélectricité et endiguement).

3.1. Les précipitations

Deux stations de mesure existent dans Salazie, une à Grand Ilet s.s. et une à Hell-Bourg qui a été jugée représentative des conditions générales du cirque.

Les hauteurs de pluie relevées durant le passage du cyclone Hyacinthe sont les suivantes :

PLUIES QUOTIDIENNES DU 15 AU 27 JANVIER 1980
(Valeurs arrondies en millimètres entiers)

Janvier	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	Total 15 au 27
Hell-Bourg	28	27	222	240	299	256	191	138	388	400	358	407	581	3 535
Grand-Ilet	3	94	172	171	240	164	160	391	360	858	706	1044	877	5 240

PLUIES MAXIMALES OBSERVEES DU 15 AU 27 JANVIER 1980
LORS DU PASSAGE DU CYCLONE TROPICAL "HYACINTHE"
(en millimètres entiers)

STATION \ DUREE	1 H	2 H	3 H	6 H	12 H	24 H	48 H	72 H	96 H
Grand Ilet.....	110	215	310	605	1170	1742	2240	3240	3485

L'analyse de ces données par la DDA a porté sur le phénomène dans son ensemble. A titre de référence, on calcule le rapport entre les précipitations de l'épisode Hyacinthe (PH) et la pluie maximale mensuelle (PMM) connue sur la période d'observation de la station considérée

PH/PMM Hell-Bourg $\frac{3535}{2284} = 1,5$

PH/PMM Grand Ilet $\frac{5240}{2603} = 2,0$

Par ailleurs, on essaie d'ajuster les pluies mensuelles maximales calendaires aux lois statistiques pour les valeurs extrêmes (lois de Gumbel).

Le diagramme de la figure 1.6 traduit un bon ajustement des précipitations selon cette loi.

On en tire les conclusions suivantes pour la station d'Hell - Bourg :

- Pluie maximale mensuelle connue (non compris Hyacinthe..... 2 284 mm
- Précipitation mensuelle centennale calculée.. 3 100 mm
- Précipitations dues à Hyacinthe..... 3 535 mm

tel-00679334, version 1 - 15 Mar 2012

- Période de retour théorique correspondante..... 250 ans

Malgré l'imprécision que comporte l'extrapolation aux faibles probabilités l'épisode Hyacinthe peut être considéré comme un événement exceptionnel dont la période de retour est au minimum centennale.

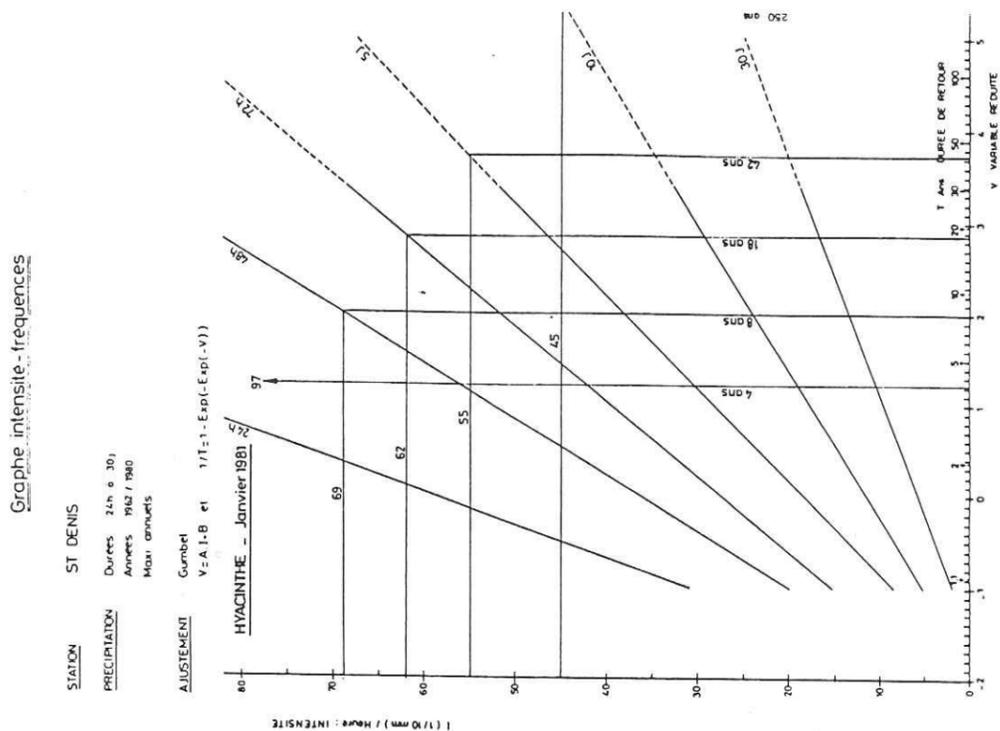
L'analyse des données par la DDE relève d'une optique légèrement différente et plus significative pour nous. Elle s'attache à l'étude des intensités de précipitations (hauteur d'eau/unité de temps) pour plusieurs intervalles de temps allant de quelques heures à la durée totale du cyclone. Les phénomènes de ravinement sont fonction du débit de crue, lui-même fonction de l'intensité de la précipitation et du temps de concentration du bassin versant.

Dans notre secteur, ces durées n'excèdent pas quelques heures. Le cas des glissements de terrain est plus complexe, car il faut tenir compte du temps de saturation du sol, mais une fourchette de 1 à 5 jours paraît suffisante pour atteindre des conditions d'instabilité critiques.

Nous n'avons pas pu bénéficier des résultats de l'analyse des pluviogrammes de Hell-Bourg (traitement en cours) mais, avec beaucoup de prudence, on peut établir une comparaison avec ceux obtenus pour la station de Saint-Denis qui présente la même période de retour pour l'ensemble du phénomène (= 250 ans) (figure 1.7). On constate alors que les périodes de récurrence, pour des durées de 24 à 120 heures, ne sont plus respectivement que de 4 à 42 ans, soit des valeurs assez modestes.

3.2. Les débits de crues

Les valeurs mesurées sont très peu nombreuses. Nous ne disposons que d'informations relatives à des cours d'eau de la Plaine des Cafres.



STATION HELL BOURG AJUSTEMENT DES MAXI MENSUELS Période 51_80

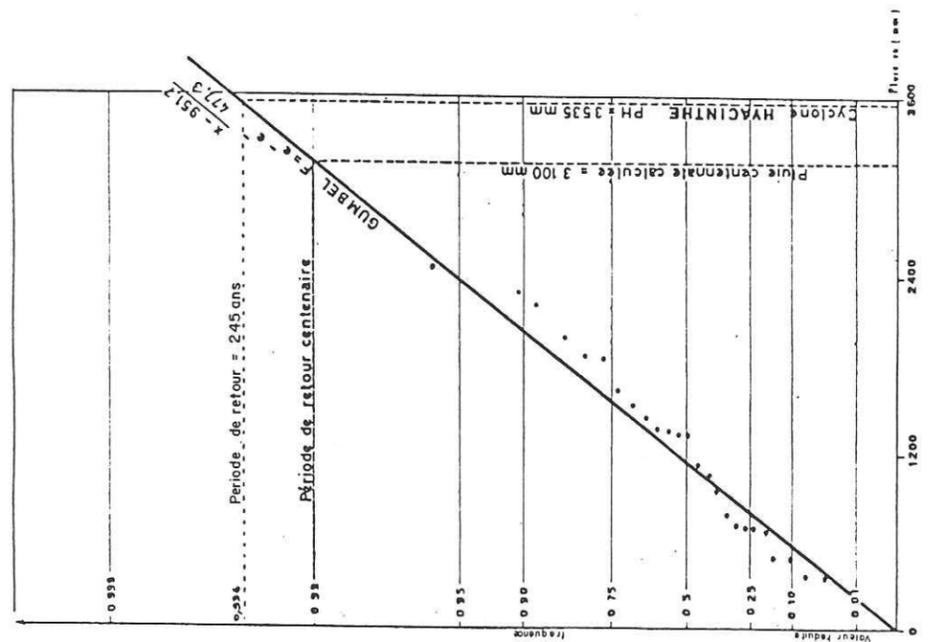


Figure 1.6. - Ajustement statistique des précipitations maximales mensuelles.

Figure 1.7. - Période de retour d'une précipitation en fonction de son intensité.

Cependant, elles concernent des terrains éminemment plus perméables qu'à Grand Ilet et donc plus difficiles à saturer. Dans ces conditions, on peut affirmer que du 24 au 27 janvier, au plus fort du cyclone Hyacinthe, la saturation des terrains était totale et le coefficient de ruissellement minimal de l'ordre de 80 à 90 %.

Les débits spécifiques moyens des rivières, ravines et talwegs sont de l'ordre de 10 à 15 m³ / s / km².

On peut citer quelques valeurs de débits concernant la rivière du Mat, qui draine l'ensemble du cirque de Salazie, à la sortie de ce dernier (RN2).

Débit de pointe estimé (Hyacinthe) m ³ /s	Débit spécifique correspondant m ³ / s / km ²	Débit maximal de pointe relevé m ³ / s
2 500	15,4	1 700

4. Remarques et commentaires

Il est souvent difficile de concevoir l'ampleur des phénomènes cycloniques, quelques comparaisons vont y aider :

- la période de récurrence d'un événement de type Hyacinthe est donnée pour centennale. Même si cette valeur paraît importante il faut savoir qu'en métropole, les ouvrages évacuateurs de crue de barrages sont calculés pour des crues quinquemillénaires (5 000 ans) à décamillénaires (10 000 ans).

Un événement centenal signifie que l'île de la Réunion aurait subi environ 20 000 cyclones de ce type depuis sa naissance et environ 200 depuis la fin de l'activité du Piton des Neiges. Par ailleurs, la période de retour d'une intensité comparable sur quelques jours est assez courte et n'atteint que quelques années. A ce titre, on peut rappeler que le précédent cyclone catastrophique ne remonte qu'à 1948.

- Le débit de crue de la rivière du Mat au pont de la RN2 est de 2 500 m³/s alors que le débit moyen du Rhône à son estuaire est de m³/s.

IV LES ELEMENTS GEOLOGIQUES

1. Le contexte géologique du Piton des Neiges

L'histoire géologique de la Réunion a déjà fait l'objet de nombreuses études. Les auteurs ont surtout traité la minéralogie, la pétrographie et la géologie structurale. Par contre, ils ont négligé les formations les plus récentes qui occupent actuellement la majorité des fonds de cirques et sont le plus souvent regroupées sous le terme de "détritique de fond de cirque".

Résumons tout d'abord les données acquises sur la géologie à l'échelle régionale du massif du Piton des Neiges.

La subdivision en différentes formations a été essentiellement guidée par des critères pétrographiques. Nous présentons ici une brève synthèse établie à partir des données de RANCON (1982).

Deux groupes principaux de laves et de formations remaniées associées doivent être rapportés à deux stades majeurs de l'évolution du volcan du Piton des Neiges.

1.1. La "série" des océanites

Elle constitue le bouclier primitif. Elle est formée de coulées d'océanites, de basaltes à olivine et de leurs produits de remaniement (brèches d'effondrement, lahars...).

Cette série a été subdivisée en deux unités distinctes par UPTON et WADSWORTH (1965) :

1.1.1. Les océanites anciennes (phase I de BILLARD)

(figure 1.8 a)

L'unité inférieure, la plus ancienne connue à l'affleurement, est principalement rencontrée dans le fond des cirques, à la faveur des coupes naturelles fournies par les différentes rivières et ravines: c'est la série des océanites anciennes ("older oceanite series").

Cette unité est très altérée, et une remobilisation très poussée des éléments chimiques de la roche a conduit à la création de produits minéralogiques secondaires. Ces minéraux sont essentiellement des zéolites, et leur grande abondance dans l'ensemble des termes de la série des océanites anciennes rend impossible la datation de celles-ci.

Il s'agit des produits les plus anciens rencontrés à l'affleurement. Ils sont principalement visibles à l'intérieur des trois cirques dans les parois des gorges et dans le fond de celles-ci. A l'extérieur des cirques, il existe peu de témoignages de leur présence.

La série des océanites anciennes est une formation complexe et représente plutôt une unité volcano-structurale.

Les différents faciès lithologiques qui la composent sont, d'une part les produits directs du volcanisme (phase active de construction) et d'autre part, les produits secondaires du remaniement (phase de destruction).

On peut donc distinguer deux groupes : les laves et les brèches. Ces deux phases sont en alternance dans la série et souvent leurs niveaux sont intimement imbriqués, ce qui complique le déchiffrement des affleurements.

1.1.2. Les océanites récentes (phase II de BILLARD)

(figure 1.8 b)

L'unité supérieure, plus récente, constitue l'ossature des reliefs du Piton des Neiges. Cette série, appelée série des océanites récentes ("younger oceanite series") affleure au niveau des principaux

remparts. La puissance de cette unité atteint plusieurs centaines, voire un millier de mètres.

L'interstratification de niveaux de brèches, de conglomérats et de sills (col de Fourche, source Blanche, rivière des Galets) n'est pas rare dans l'empilement des laves à olivine. Entre cette unité et la série des océanites anciennes, des sills soulignent fréquemment les discontinuités lithologiques.

De manière générale, seule la base de la série des océanites récentes est affectée par l'hydrothermalisation, alors que la partie supérieure est peu altérée.

De toute façon, les niveaux altimétriques atteints par la zéolitisation dans la série des océanites récentes sont très variables (2 000 m au moins au col de Fourche, dans la partie centrale du massif; niveau de la mer au plus, dans la région de la rivière Saint-Denis).

Cette série très monotone et d'une épaisseur de plusieurs centaines de mètres, composée elle aussi d'océanites, de basaltes à olivine, de basaltes aphyriques, se distingue essentiellement de la série des océanites anciennes par la physionomie des faciès à l'affleurement. Les laves de la série des océanites anciennes ne possèdent plus de structures bien visibles si ce n'est le débit ellipsoïdal des tubes, souligné par l'hydrothermalisation. Au contraire, les coulées de la série des océanites récentes conservent une structure stratifiée bien visible caractérisée par des bancs rocheux individualisés, ainsi que par des figures souvent très bien conservées de laves pahoe-hoe (cordes, tubes, tunnels de lave,...). C'est donc davantage à partir des critères relatifs à l'état d'altération des laves qu'à partir des différences pétrographiques que se fait, sur le terrain, la distinction entre océanites anciennes et océanites récentes.

Dans le coeur des cirques, des formations bréchiques de même

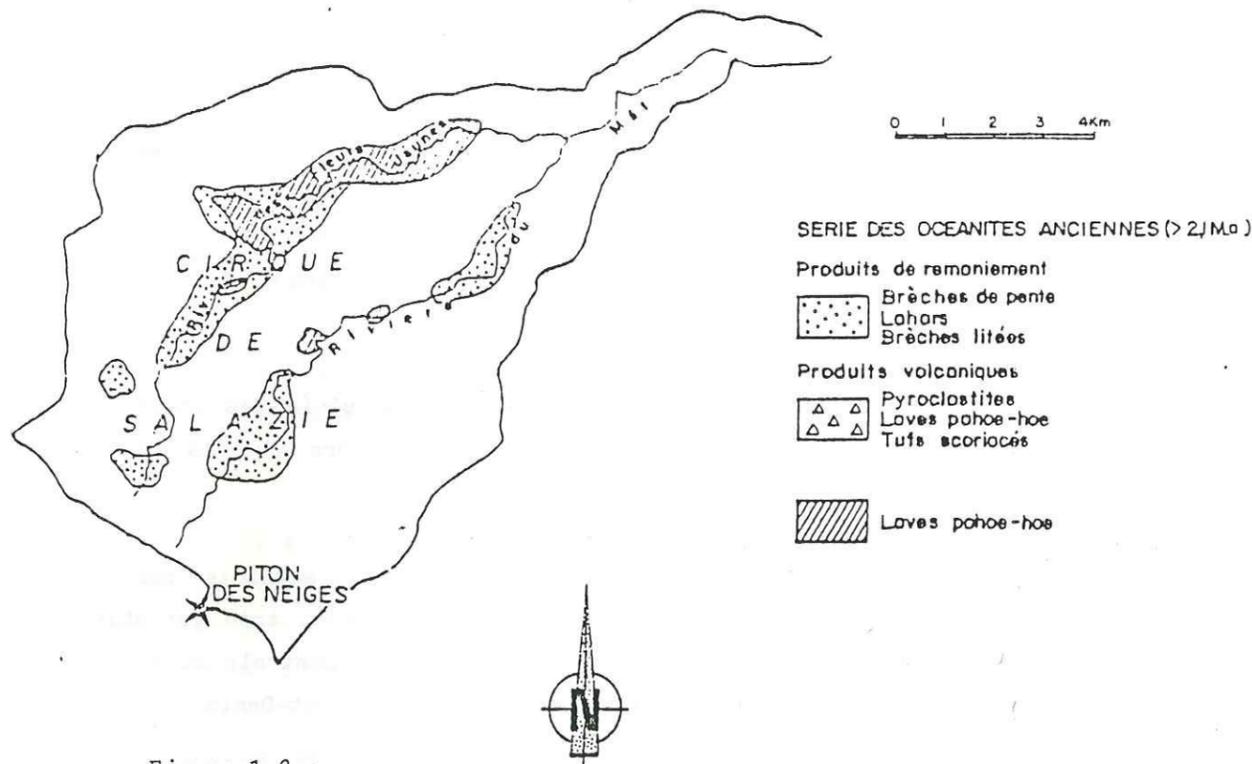


Figure 1.8 a

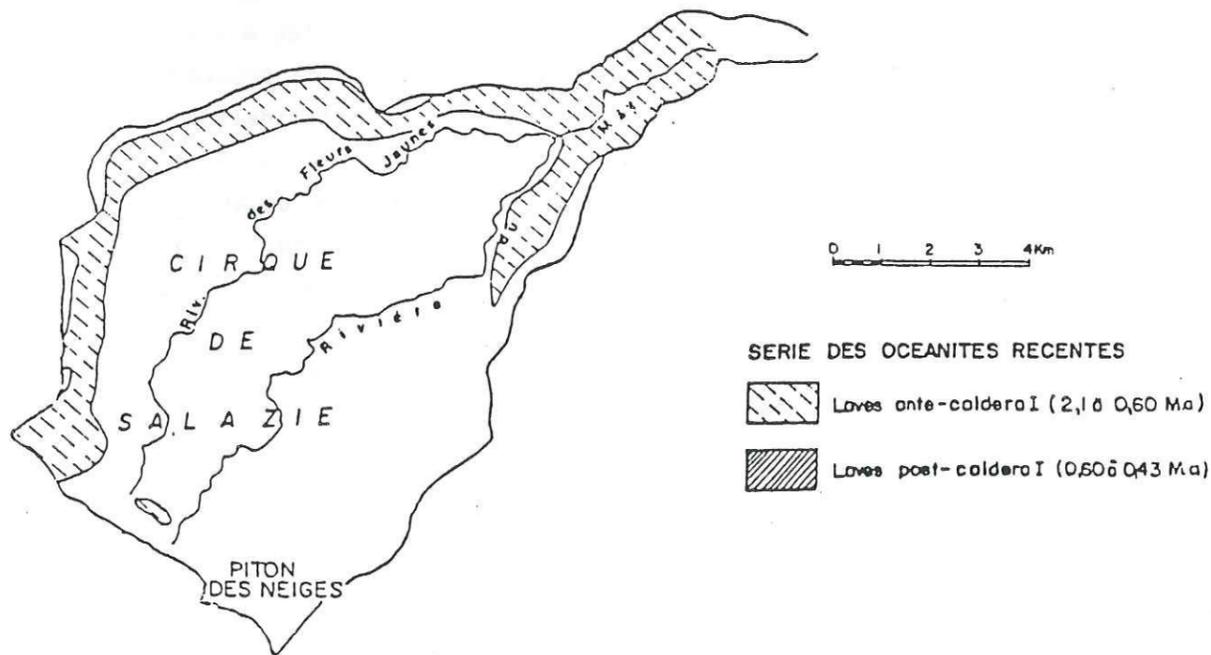


Figure 1.8 b

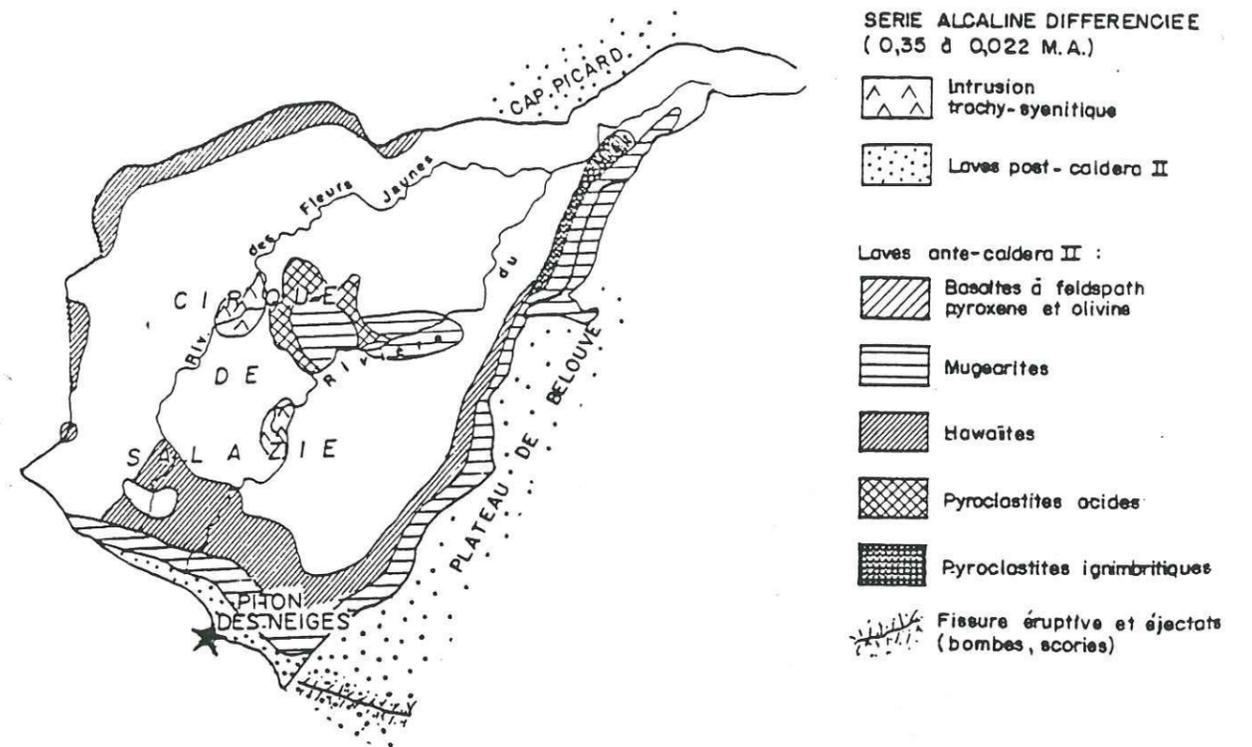


Figure 1.9

Figure 1.8 a.- Principaux affleurements de la série des océanites anciennes.

Figure 1.8 b.- Principaux affleurements de la série des océanites récentes.

Figure 1.9. - Principaux affleurements de la série des laves différenciées.

type que celles qui ont été décrites précédemment au sein des océanites anciennes, attestent également des épisodes séquentiels de construction et de destruction, au cours de la mise en place de la série des océanites récentes.

1.2. La série différenciée (figure 1.9)

Elle repose sur l'unité précédente. Le volume total de ses constituants est moindre que celui des océanites. Cette série différenciée, qui correspond au deuxième stade d'évolution magmatique du Piton des Neiges, est constituée de laves alcalines dont les termes varient des hawaïites, mugearites, benmoreites jusqu'aux trachytes.

Les principaux témoins actuels préservés par l'érosion sont la chaîne Gros Morne-Piton des Neiges, les crêtes de la Marianne et des Calumets dans le cirque de Mafate, le Piton d'Enchain dans le cirque de Salazie.

Différentes mesures radiométriques K/Ar effectuées par Mc DOUGALL (1971) et GILLOT (in NATIVEL, 1978) ont donné à cette série un âge compris entre 0,35 et 0,046 Ma.

L'activité volcanique reprend avec l'apparition de produits évolués, après une période de repos de l'ordre de 80 000 ans. Elle se concentre dans le coeur du massif, au niveau du Piton des Neiges et du Gros Morne, édifiant un appareil de plus de 800 m de hauteur.

De nombreuses et importantes fissures et des cônes adventifs fonctionnent également sur toutes les pentes du massif, et de là s'épanchent des coulées qui recouvrent les océanites. La série différenciée, franchement alcaline, est constituée d'une alternance décimétrique à plurimétrique de laves et de scories, ainsi que d'un système intrusif très important. Ses laves ne se rencontrent qu'exceptionnellement à l'intérieur des cirques (Piton d'Enchain et rivière du Mat, crête des Calumets).

La période des laves différenciées a été subdivisée en deux époques par Billard (1974) :

- La phase III (350 000 à 250 000 ans)

constituée de "basaltes à phénocristaux de feldspath" (faciès Roche Pintade) et de basaltes aphyriques, en coulées de forte puissance (un à deux mètres d'épaisseur).

La fin de cette phase est marquée par une importante activité explosive : tufs, brèches d'explosion, pyroclastites.

- La phase IV (250 000 à 22 000 ans)

est matérialisée par des coulées de faible puissance de lave aphyrique, qui nappent les pentes du volcan et s'épanchent dans les ravines en coulées de vallée.

La fin de cette phase est également marquée par un dynamisme explosif important avec entre autres, l'ouverture d'un système fissural nord ouest - sud est provoquant de grands amoncellements pyroclastiques, entre le cap La Houssaye et Saint-Gilles-les-Bains.

CHEVALLIER (1979), lui, a mis en évidence deux périodes volcano-structurales majeures séparées par un effondrement (caldéra II) centré sur le Piton des Neiges.

Il distingue ainsi :

1.2.1. Les laves différenciées anté-caldéra II (350 000 à 70 000 ans)

Ce sont pour la plupart des hawaïites, mugearites et pyroclastites acides accompagnées d'un système filonien correspondant à des venues de dolérites, trachytes, syénites et comendites.

- les hawaiïtes (Roches Pintade) ont un âge compris entre 350 000 et 250 000 ans (MC DOUGALL, 1971 ; GILLOT in NATIVEL, 1978) et correspondent à la phase III de BILLARD. Elles constituent l'activité primordiale de la série des laves différenciées.
- les mugéarites correspondent au deuxième épisode de la série antécaldera et sont datées entre 230 000 et 73 000 ans (MC DOUGALL, 1971 ; GILLOT in NATIVEL, 1978).

L'appareil était centré sur le rond du Bras Rouge si l'on tient pour preuve suffisante la disposition convergente des fissures éruptives radiales, en ce lieu.

1.2.2. Les laves différenciées post-caldéra II (70 000 à 22 000 ans)

Elles correspondent au remplissage des structures d'effondrement provoquées par l'élaboration de la caldera II cernant le Piton des Neiges.

Les laves émises sont essentiellement des benmoreïtes ainsi que quelques hawaiïtes et mugéarites terminales (NATIVEL, 1978).

Le cirque des Marsouins a été comblé par les coulées provenant de ce dernier épisode d'activité volcanique du Piton des Neiges. Le Plateau de Belouve, la Vallée de Takamaka et la sortie du cirque de Salazie (Cap Picard, Ilet Morin, Bonnet d'Evêque), présentent également un revêtement constitué de ces coulées.

L'âge le plus récent (22 000 ans), attribué jusqu'à présent aux formations différenciées du Piton des Neiges, a été déterminé à partir de la datation d'échantillons de bois carbonisés et de sols charbonneux du plateau de Belouve et de la forêt de Bebour.

La phase terminale du Piton des Neiges a été très explosive comme en témoigne la présence de scories et de bombes en fuseau à proximité de l'actuel sommet.

L'ensemble de ces données a été assemblé en une colonne lithostratigraphique schématique présentant les principales formations du massif du Piton des Neiges et les différentes classifications proposées par les divers auteurs, (figure 1.10).

2. Les phénomènes d'hydrothermalisation

Ces phénomènes semblent à priori étrangers au sujet de nos préoccupations. Il nous apparaît toutefois maintenant que, par les transformations qu'ils ont engendrées au sein des océanites, et que l'on peut comparer en un sens à un métamorphisme, ils jouent probablement un rôle déterminant quant au type et à la localisation des déséquilibres initiaux.

Ces phénomènes hydrothermaux ont été signalés par de nombreux auteurs. Le travail le plus récent et le plus complet est celui de RANCON auquel on pourra se référer. Une trentaine de minéraux hydrothermaux ont été mis en évidence (figure 1.11) mais c'est l'étude des zéolites qui constitue l'essentiel du travail et permet de définir les grandes phases hydrothermales qui ont affecté le massif du Piton des Neiges, dans le contexte pétrographique et structural défini auparavant.

Parmi le cortège de minéraux engendrés par l'hydrothermalisation et outre les zéolites, l'attention du géotechnicien est bien d'avantage retenue par les argiles et notamment la montmorillonite maintes fois signalée.

2.1. La zéolitisation

Ce terme est généralement et abusivement employé en lieu et place d'hydrothermalisation car la néoformation de zéolites en constitue la manifestation la plus spectaculaire. La roche volcanique sombre, à tendance basaltique est en effet mouchetée de très nombreux points blancs.

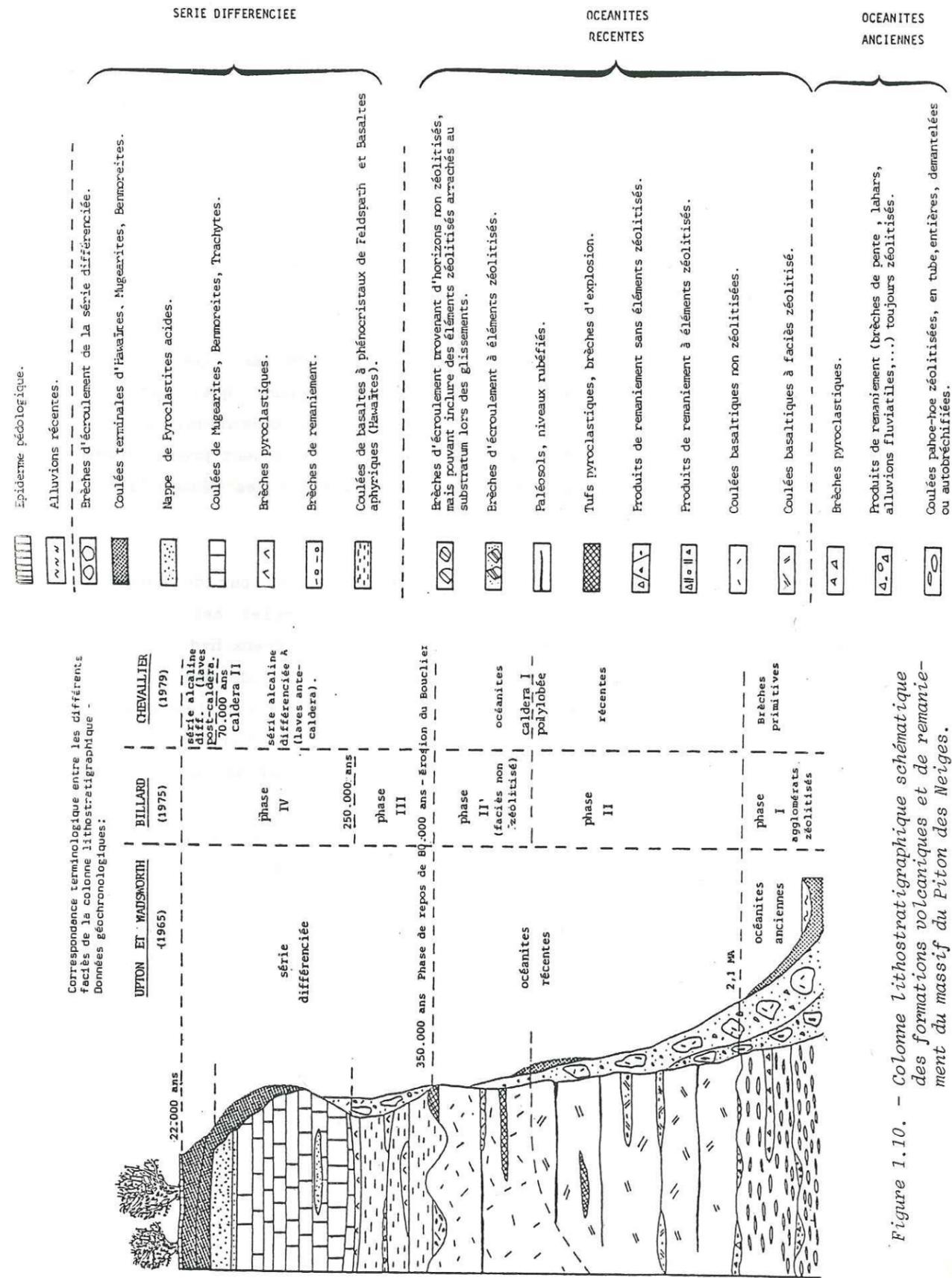


Figure 1.10. - Colonne lithostratigraphique schématique des formations volcaniques et de remaniement du massif du Piton des Neiges. (RANCON, 1982)

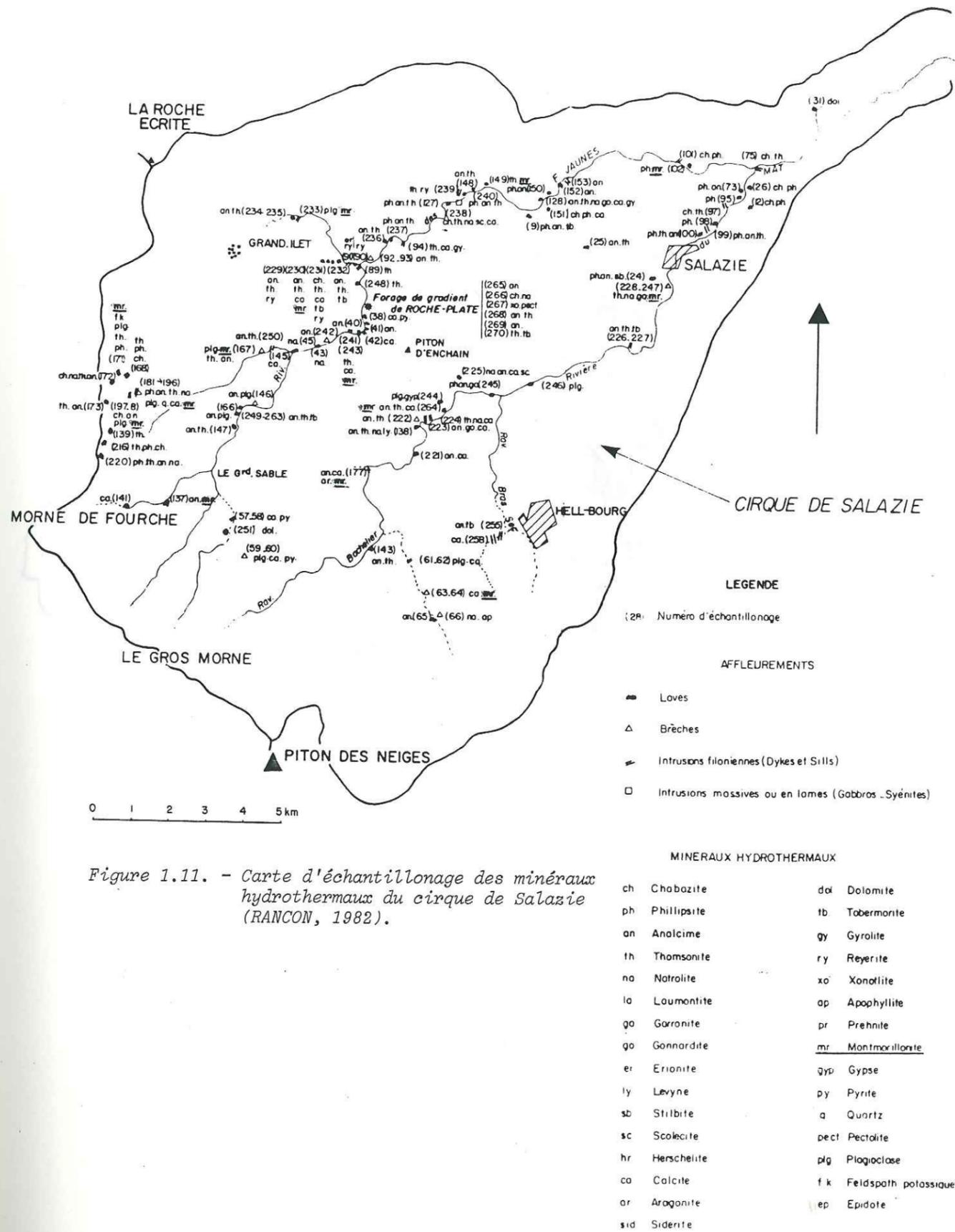


Figure 1.11. - Carte d'échantillonnage des minéraux hydrothermaux du cirque de Salazie (RANCON, 1982).

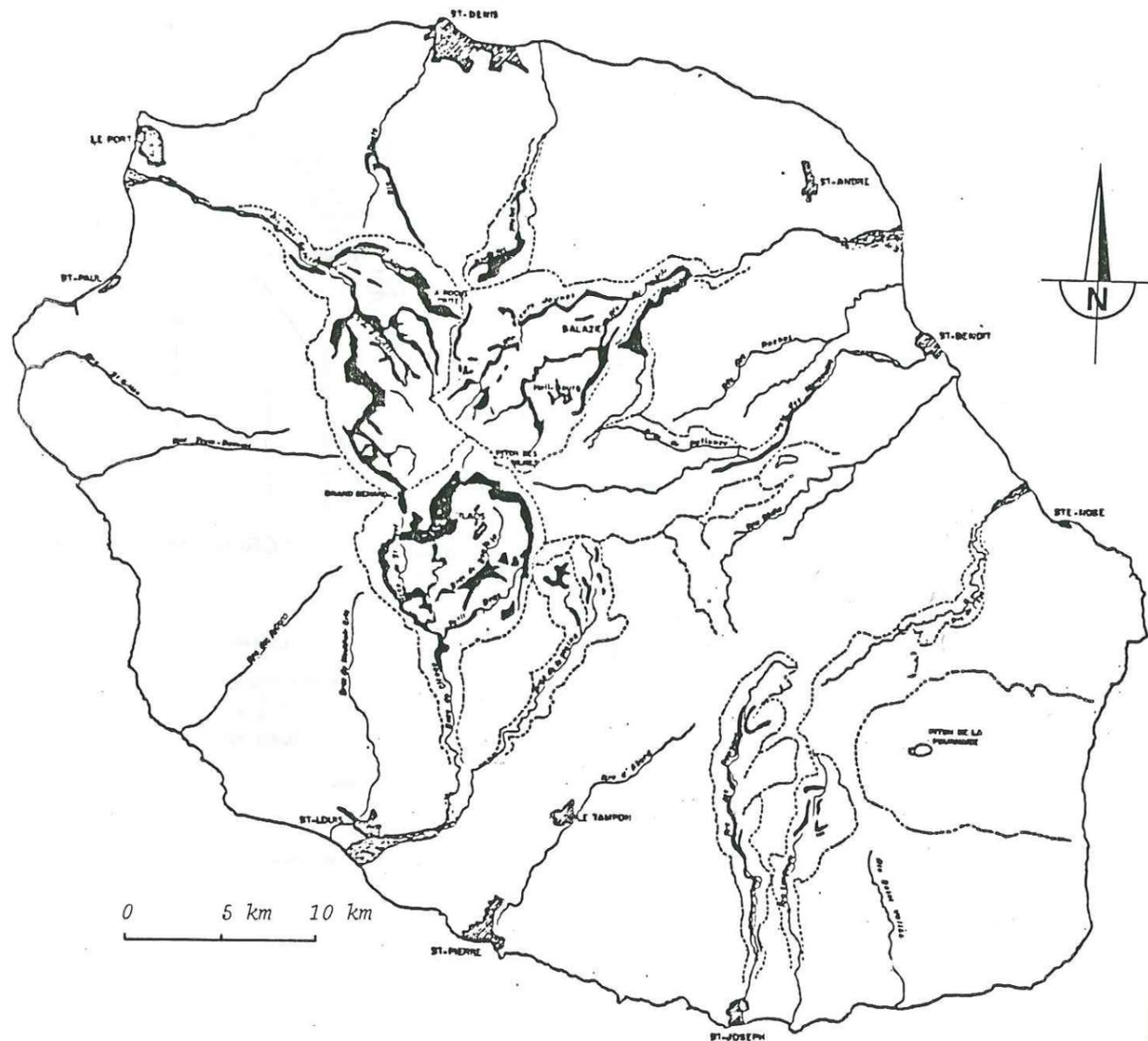


Figure 1.12. - Affleurement des séries zéolitisées sans distinction de leur phase de genèse (STIELTJES, 1981).

Ce phénomène affecte les terrains les plus anciens du massif, lesquels n'affleurent que dans les entailles les plus profondes creusées par les ravines (figure 1.12). Seules les océanites anciennes et la base des océanites récentes sont affectées par un phénomène hydrothermal régional. La série différenciée montre quelques traces de zéolitisation très localisées autour d'intrusions.

2.2. Les principales phases d'hydrothermalisation. Relations avec les structures

2.2.1. Phase 1 : hydrothermalisation des océanites anciennes

Cette phase affecte l'ensemble du substratum actuel des trois cirques. Latéralement, elle a largement dépassé la limite actuelle des remparts. Les différentes zones hydrothermales reconstituées s'agencent en enveloppes grossièrement circulaires et concentriques autour du centre du massif. Cette distribution apparente des faciès ne permet pas de privilégier l'action de l'une des composantes du système intrusif des océanites anciennes. Tout se passe comme si la phase I d'hydrothermalisation était due à l'action d'un dôme thermique de grande extension.

2.2.2. Phase 2 : hydrothermalisation des océanites récentes

Les effets de la phase II sont beaucoup plus difficiles à reconstituer, puisqu'ils se superposent à ceux engendrés par la phase I. Mais, si la reconstitution au toit de l'enveloppe d'hydrothermalisation de la phase I est impossible en raison de l'érosion des séries anciennes, il n'en est pas de même pour la phase II. La limite supérieure du front hydrothermal est assez bien marquée dans l'empilement des laves d'océanites récentes des remparts des cirques de Cilaos et Salazie. Cette limite n'a dépassé qu'exceptionnellement 2 000 m d'altitude (col de Fourche, col du Taïbit).

D'un point de vue régional, une certitude apparaît : l'hydrothermalisation qui s'étendait sur l'emplacement actuel des trois cirques

tel-00679334, version 1 - 15 Mar 2012

et au-delà dans la phase I, s'est considérablement restreinte en superficie au cours de la phase II.

Une distribution en coupole étirée suivant un axe NE - SW semble marquer une action privilégiée de la composante N 45 du système filonien en étoile, contemporain des océanites récentes.

La branche N 165 est également susceptible d'avoir facilité les apports thermiques.

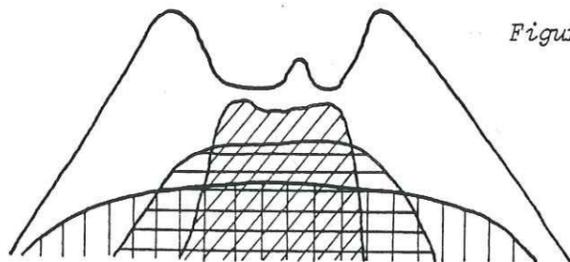
Par ailleurs, l'ensemble des océanites récentes hydrothermalisées connues à l'affleurement se cantonne à l'intérieur de la caldera I qui a affecté le bouclier primitif.

2.2.3. Phase 3 : hydrothermalisation de la série différenciée

Le phénomène ne présente plus de caractères régionaux. Il est induit par les injections qui se mettent en place et n'affecte alors que très localement les terrains encaissants. Les manifestations sont donc beaucoup plus ponctuelles.

2.2.4. Conclusion

Trois phases hydrothermales sont mises en évidence par les auteurs. De la première à la dernière, on constate une réduction latérale



-  1ère phase
-  2ème phase
-  3ème phase

Figure 1.13. - Latéralement, les terrains les plus éloignés du centre du massif ne sont atteints que par la phase I.

Verticalement, les terrains les plus élevés ne sont affectés que par la phase III.

Dans ces conditions, seule une partie des océanites anciennes située grossièrement à l'aplomb des cirques actuels est affecté par les trois phases d'hydrothermalisation.

d'influence alors que des terrains de plus en plus jeunes sont atteints. Ce phénomène est schématisé par la Figure 1.13.

2.3. La montmorillonite

Minéral argileux gonflant de la famille des smectites, la montmorillonite rencontrée à Grand Ilet peut avoir pris naissance de deux manières :

- par dégradation des silicates dans des niveaux mal drainés,
- par néoformation dans les niveaux hydrothermalisés.

Toutes les conditions nécessaires à l'existence de montmorillonite superficielle sont rassemblées par contre, en l'absence d'analyses sur les niveaux profonds, qui ne peuvent qu'être touchés en sondage, il est impossible de confirmer l'existence de montmorillonite hydrothermale.

Une chose est certaine : quelle que soit son origine, la montmorillonite a des effets extrêmement néfastes sur le comportement des roches volcaniques concernées.

Ils n'ont pas été étudiés spécifiquement à la Réunion jusqu'à ce jour, mais dans d'autres régions à climat tropical où ils ont induit de sérieux problèmes pour des travaux de Génie Civil.

2.3.1. Le site du barrage de Salto Grande en Uruguay

Lors de la réalisation des fouilles préparatoires (de ALBA E. SESANA F. 1973) aux fondations du barrage, on a pu observer une altération extrêmement rapide. Après 60 à 120 jours d'exposition aux agents atmosphériques, le basalte se transformait en un produit sablo-graveleux renfermant quelques blocs, dans lequel sont apparus quelques glissements.

tel-00679334, version 1 - 15 Mar 2012

Les basaltes concernés renferment de la montmorillonite en association avec des zéolites. Le plus souvent, elle provient de la transformation du verre sous l'influence des fluides hydrothermaux et elle remplit les bullés du basalte. La désagrégation n'apparaît pas dans les basaltes qui ne renferment pas de montmorillonite et elle est beaucoup plus faible lorsque ce minéral remplit des cavités de plusieurs centimètres. Ceci est dû au fait qu'expansion et contraction rencontrent moins de résistance.

En définitive, les auteurs attribuent la responsabilité de la désagrégation du basalte aux cycles d'expansion et de contraction des minéraux gonflants lorsqu'ils sont disséminés dans la matrice de la roche ou lorsqu'ils occupent des cavités de faible dimension. La ruine de la roche est précédée d'une intense microfissuration.

2.3.2. Le cas de Grand Ilet

La plupart des échantillons de roches zéolitisées de Salazie analysées par RANCON renferment de la montmorillonite (figure 1.11). Nous avons nous même pratiqué des analyses aux rayons X sur des échantillons prélevés à Grand Ilet dans des zones d'instabilité.

Chaque fois qu'il s'agissait d'unité intermédiaire, ils renfermaient de la montmorillonite. Par contre, les produits typiquement détritiques (déboulés du flanc est de Grand Ilet, remplissage de la Mare à Martin...) n'en contiennent pas. On peut attribuer cette différence à un lessivage de la montmorillonite pendant le déplacement qui s'effectue en présence d'énormes quantités d'eau.

Il apparaît clairement que la faible résistance de certains niveaux du substratum qui est à l'origine de glissements de grande ampleur (cf. deuxième partie) pourrait être liée à la présence de montmorillonite. Celle-ci présentant la répartition et les concentrations favorables à une intense microfissuration de la roche dès que les eaux d'infiltration ont pu atteindre les niveaux d'océanites qui la renferment.

3. Eléments de géologie structurale

L'analyse structurale du massif du Piton des Neiges a été abordée par plusieurs auteurs. Récemment on peut citer STIELTJES (1978), CHEVALIER (1979), ROBERT (1980) et STIELTJES et ROBERT (1981).

L'étude directe de la fracturation n'est guère possible dans le contexte géologique défini au paragraphe précédent du fait de la monotonie des séries, de la faible continuité latérale des couches et de l'absence de niveau repère.

Toutefois on admet que les intrusions et en particulier les dykes se mettent en place selon les lignes de faiblesse existantes, donc les fractures.

L'étude systématique de ces intrusions permet d'aborder l'analyse structurale du massif. Dans ce but, plus de 2 000 intrusions ont été étudiées.

Les résultats de l'analyse nous intéressent si l'on considère que les structures ont une influence directe sur l'évolution de la morphologie, la localisation et la naissance des mouvements de terrain.

Nous rappelons donc les grands traits de l'histoire structurale de l'île à partir de la synthèse effectuée par RANCON (1982).

3.1. Principaux éléments structuraux et directions associées

Les premiers stades d'évolution ($\approx 2,1$ Ma) correspondent au développement de l'île sur le plancher océanique jusqu'à émergence. Ils sont guidés par une structure régionale d'orientation N 150 correspondant à un relais de fissures de directions proches, marqué par de nombreuses injections (figure 1.14).

La direction N 120, postérieure à N 150, est représentative de plusieurs zones d'injection maximale. Elle rejoue tout au long de l'histoire du massif.

Cette structure d'extension est accompagnée d'une zone de faiblesse N 25-30. Des fissures d'extension N 80-90 se greffent le long de N 25-30.

Au cours de la première période des océanites récentes (2,1 à 0,6 Ma) les premiers effets de l'individualisation d'un volcanisme central se font sentir :

Une inflation de l'édifice provoque l'ouverture d'un système distensif en étoile : N 120 (rift) - N 165 - N 45 .

La caldera qui couronne l'édifice (0,6 Ma) est une vaste structure polylobée, marquant un important affaissement au sein de la série des océanites récentes.

La seconde période des océanites récentes (0,60 à 0,43 Ma) se termine avec l'installation d'un premier système de fractures concentriques et radiales.

Pendant la première période des laves différenciées (0,35 à 0,07 Ma), l'activité des rifts N150 et N120 est très réduite, la direction N25-30 est prépondérante.

La seconde caldera du Piton des Neiges, datée de 70 000 ans et jalonnée d'un important système concentrique (cône sheet), est accompagnée de la mise en place d'un système radial cantonné dans la partie centrale du massif.

La deuxième période des laves différenciées (0,07 à 0,022 Ma) est caractérisée par le développement d'un petit système concentrique et radial à l'intérieur de la zone délimitée par la caldera II.

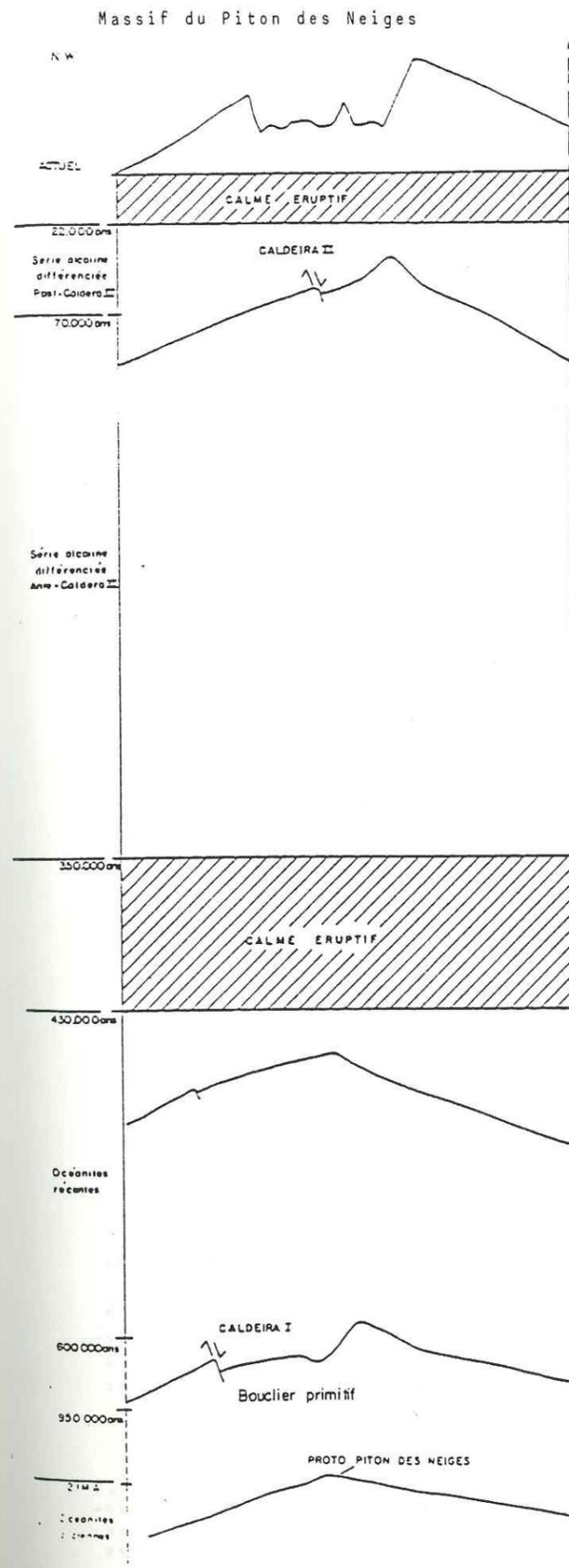


Figure 1.14.-Reconstitution des principales phases volcano-tectoniques du massif du Piton des Neiges.

← Apparition de la forme actuelle des cirques.

← Petit système concentrique et radial.

← Caldera II + système concentrique et radial.

} volcanisme central

Activité réduite des rifts N150 et N120.

Direction N25-30 prépondérante

← Premier système de fractures concentriques et radiales, lié au volcanisme central.

Activité des rifts N150 et N120

← Affaissement : caldera I polylobée

← Gonflement : système distensif en étoile : N120 - N165 - N45 -

} Installation d'un volcanisme centralisé

← Emersion de l'île : activité des rifts N150 et N120 ; fractures N80-95 et N25-30 associées au rift N120.

tel-00679334, version 1 - 15 Mar 2012

Remarque :

Si l'existence d'une caldera II est admise, sa définition reste assez floue, tant en ce qui concerne la forme qu'elle avait pu adopter que son influence sur la morphologie du massif.

Pourtant la connaissance de ce trait structural majeur et récent (= 70 000 ans), susceptible d'affecter notre secteur, serait importante pour la compréhension du mode d'évolution du relief et des nombreuses manifestations d'instabilité.

Nos observations de terrain et l'opinion de certains spécialistes nous font penser qu'il s'agit en fait d'une zone d'affaissements successifs, large de plusieurs centaines de mètres, qui cernerait le dernier centre actif et aurait été oblitérée par les dernières éruptions. De la sorte, cette caldera ne se traduirait pas par des escarpements importants mais plutôt par une flexure du substratum en particulier entre Grand Ilet s.s. et Mathurin.

3.2. Conclusion

On sait que, d'une manière générale, la tectonique peut régir l'implantation du réseau hydrographique dans les roches dures. Nous avons tenté de confirmer les directions précédemment énoncées à travers une étude statistique systématique des directions des ravines. La méthode employée a l'avantage d'être totalement objective.

* Rappel de définitions :

- rift au sens hawaïen : zone axiale privilégiée d'extension dans un volcan de type hawaïen : un relais de fissures permet à des intrusions de s'injecter et de contribuer à la construction du volcan.
- Caldera : vaste dépression et effondrement volcaniques, plus ou moins en forme de cirque ou aux bordures curvilignes, dont le diamètre est plusieurs fois plus grand que celui d'aucun des cratères qui se trouvent à l'intérieur. Génétiquement, une caldera est associée à un effondrement résultant de l'émission du magma.

* Remarque

Les directions des différents plans sont données par rapport au Nord géographique. La déclinaison magnétique à la Réunion varie de 16,5° à 17,5° suivant le secteur d'étude, valeurs que l'on doit retrancher aux mesures effectuées à la boussole.

V. ETUDE STATISTIQUE DES DIRECTIONS DE RAVINES DU CIRQUE DE SALAZIE

Le découpage du massif par le système de cassures peut jouer un rôle décisif quant à la stabilité de certains versants. Or, sauf présence de dykes, il est très difficile d'apprécier la direction des fractures ou même de les déceler. L'étude du réseau hydrographique nous a paru un moyen efficace de détection.

Nous avons donc tenté de déterminer si les directions de ce réseau étaient uniformément réparties dans le plan ou au contraire orientées par les linéaments tectoniques. Dans ce but, une analyse statistique de l'orientation des ravines a été réalisée.

1. La méthode

L'analyse a été réalisée au moyen de l'analyseur d'image QTM 720 du département MGA (Minéralogie, Géochimie et Analyse) du Service Géologique National à Orléans.

1.1. Description et choix des documents analysés

La carte à 1/50 000 de l'IGN a servi de base. Deux documents ont été traités : le premier présentant l'ensemble du réseau hydrographique, le second uniquement les ravines principales (figure 1.15 et 1.16).

Les tracés obtenus ont été réduits pour obtenir des documents de 10 x 15 cm qui sont analysés par planches de 5 x 5 cm. La réduction est imposée par des contingences financières, le coût de l'étude étant proportionnel à la surface traitée.

1.2. Présentation des résultats

Les mesures de directions sont regroupées par tranches de 4 degrés. On obtient pour chacune :

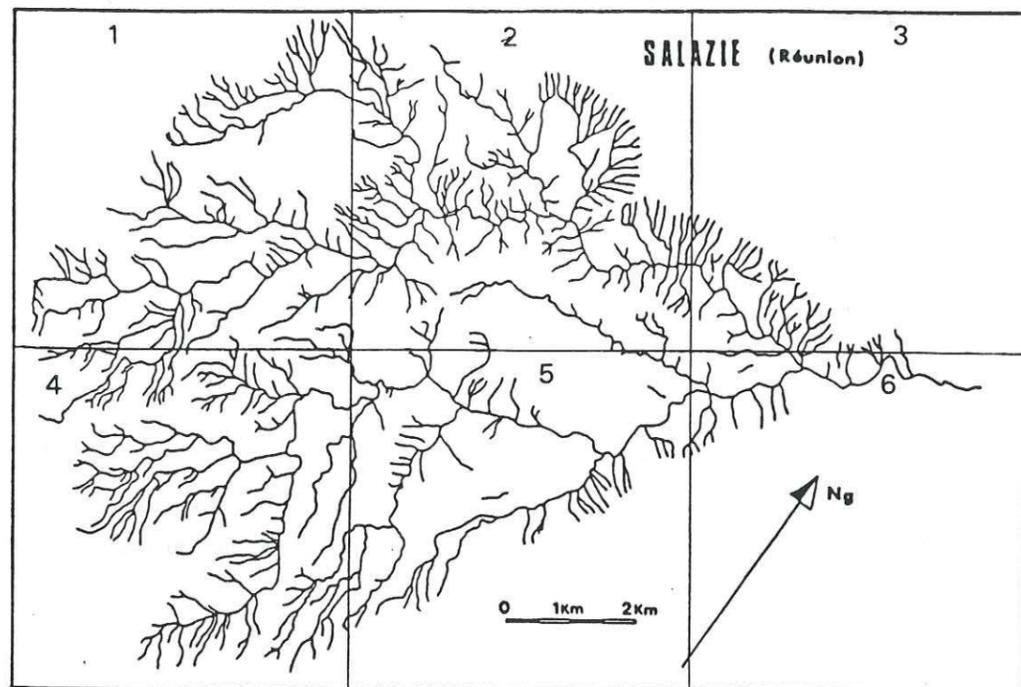


Figure 1.15. - Réseau hydrographique complet du cirque de Salazie.

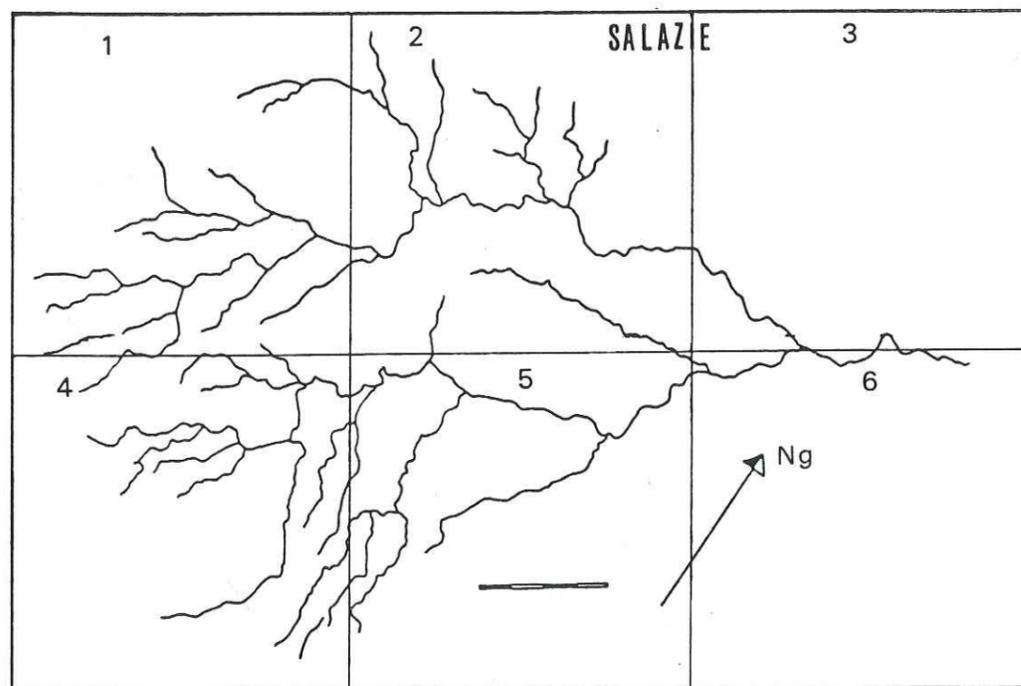


Figure 1.16. - Ravines principales du cirque de Salazie.

4 : Numérotation de zone

- le nombre de kilomètres de réseau par degrés,
- le pourcentage de kilomètres de réseau que représente la classe de 4 degrés. De plus ces résultats sont présentés sous forme d'histogrammes (tableaux des planches 1.1, 1.2, et 1.3). Il faut remarquer que l'échelle verticale de ces derniers n'est pas constante mais fonction de l'écart entre la plus petite et la plus grande valeur. Afin d'obtenir une présentation synoptique facilitant les comparaisons nous avons présenté les résultats les plus intéressants sous forme de rosaces (figures 1.17, 1.19, 1.21).

Les résultats sont donnés pour chaque plage élémentaire de 5 cm de côté ainsi que pour l'ensemble de la carte étudiée (figure 1.14).

1.3. Remarques préliminaires

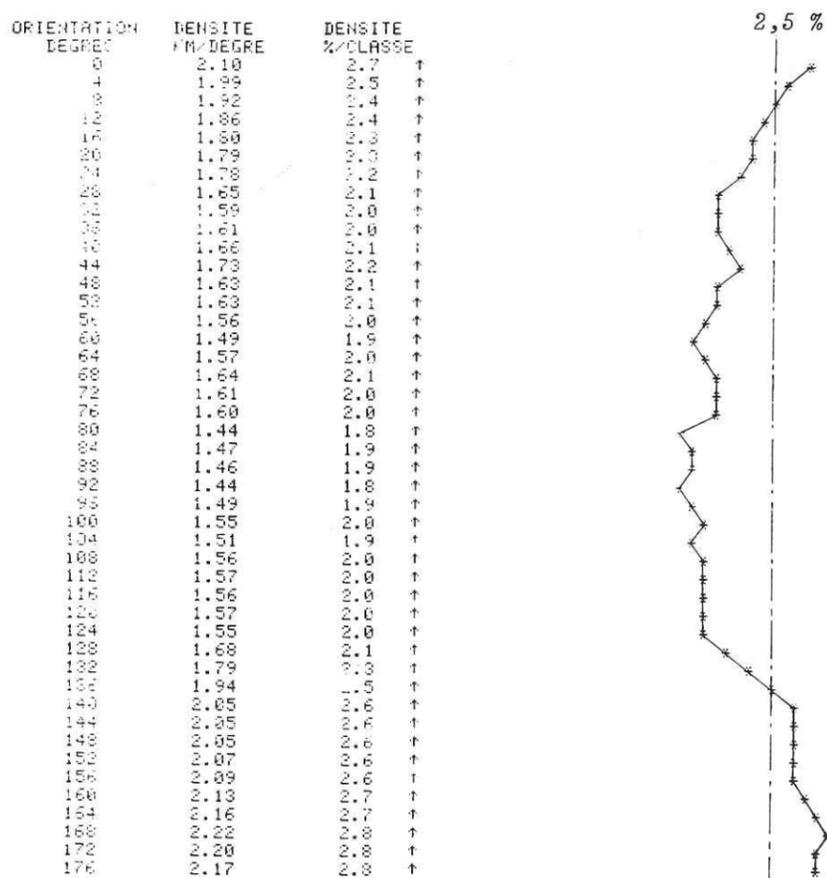
Il est prévisible que la topographie des remparts influe particulièrement sur le tracé des petites ravines situées le plus à l'amont. Les rosaces de directions (figures 1.17, 1.19, 1.21) le confirment, montrant une nette différence entre les résultats obtenus pour le réseau hydrographique total et les seules ravines principales.

L'interprétation des résultats exige que soit déterminée l'influence propre des remparts sur les ravines qu'ils commandent et qui entament le glaciais d'éboulis et colluvions développé à leur pied en suivant évidemment la ligne de plus grande pente. A une direction α de falaise correspond donc obligatoirement des ravines de direction $\alpha + \frac{\pi}{2}$.

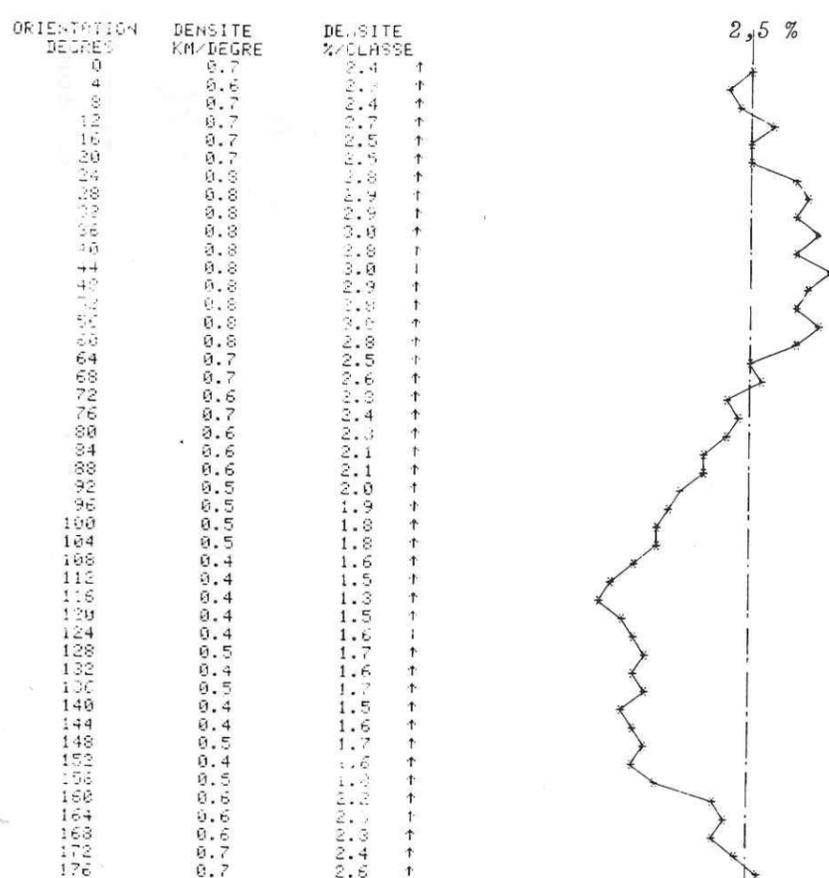
Pour y parvenir, nous n'avons pas recouru à l'analyseur d'images.

Figure A - Réseau hydrographique total du cirque de Salazie.

Figure B - Ravines principales du cirque de Salazie.



Longueur totale de réseau : 316,0 km

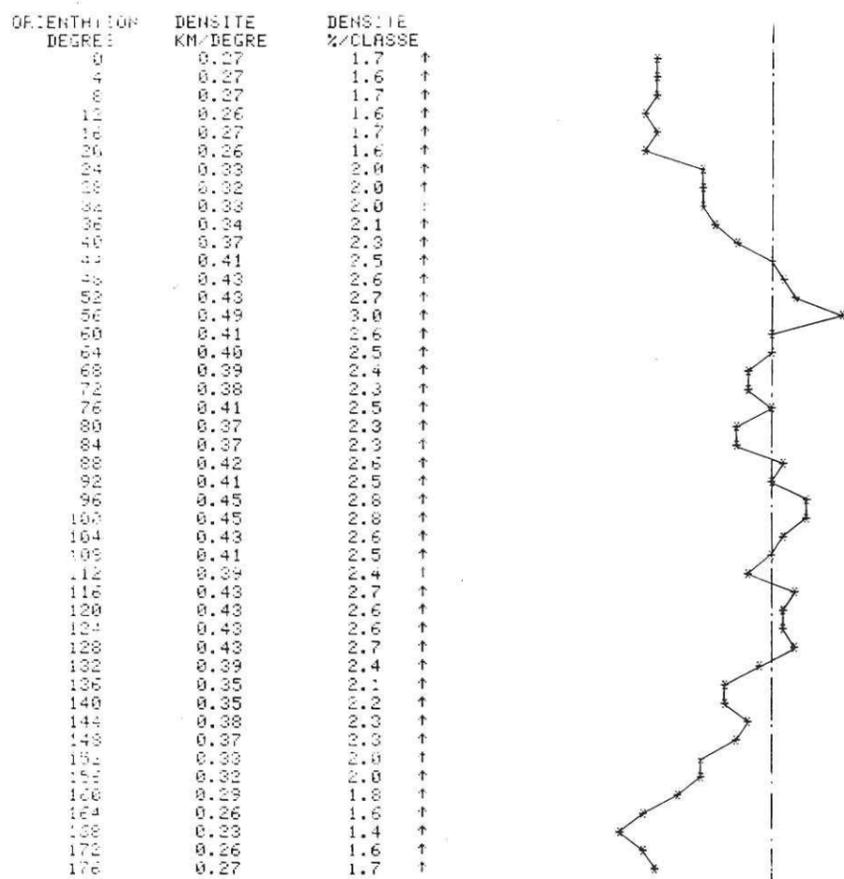


Longueur totale de réseau : 109,3 km

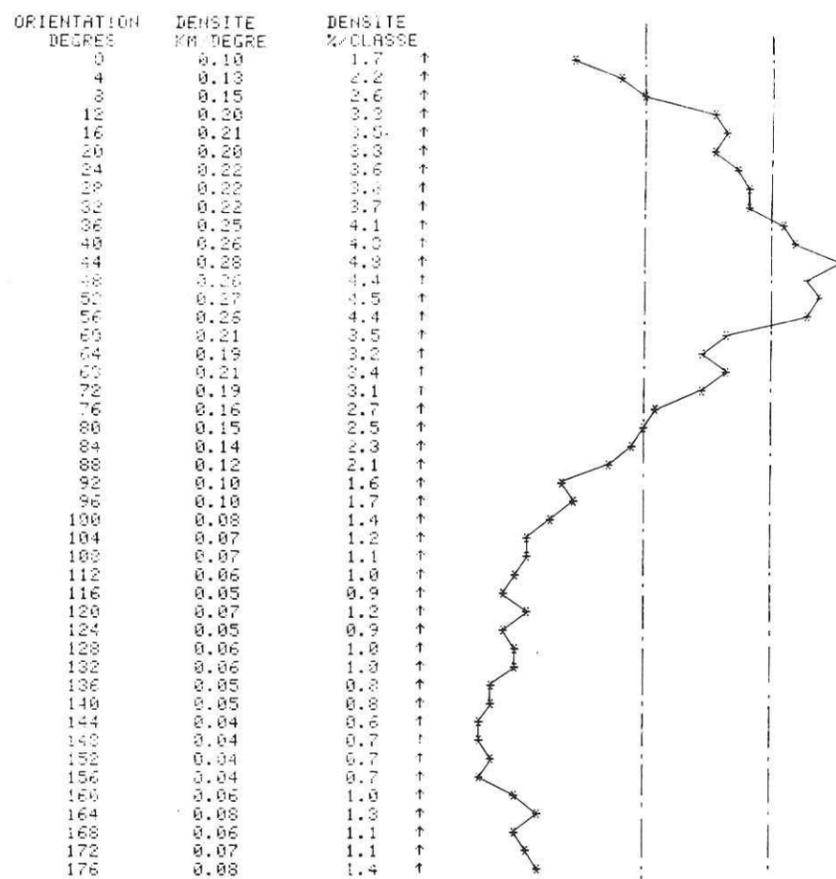
Planche 1.1. - Analyse des directions du réseau hydrographique du cirque de Salazie.

Figure A - Réseau hydrographique total de la zone 1.

Figure B - Ravines principales de la zone 1.



Longueur totale de réseau : 65,1 km

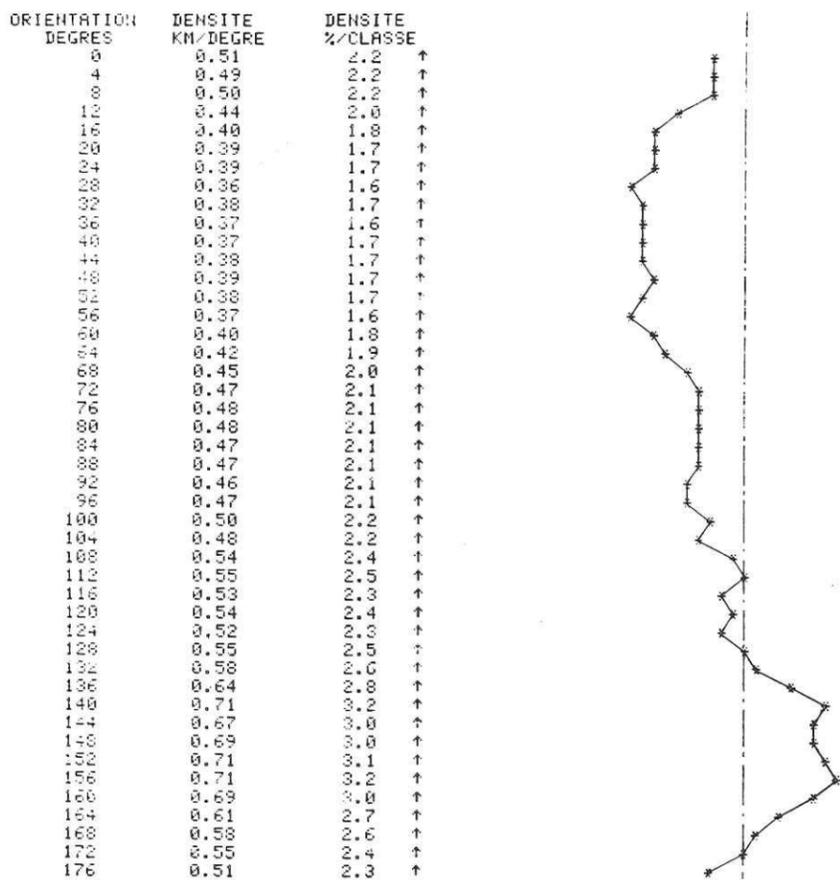


Longueur totale de réseau : 23,9 km

Planche 1.2. - Analyse des directions du réseau hydrographique de la zone 1.

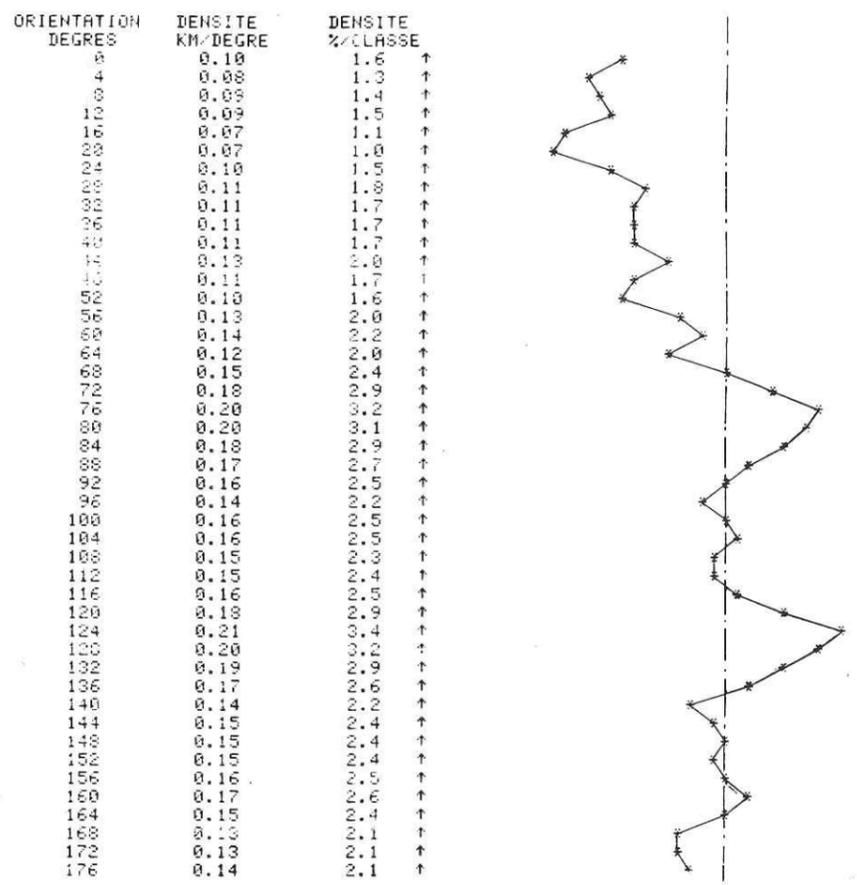
tel-00679334, version 1 - 15 Mar 2012

Figure A - Réseau hydrographique total de la zone 2



Longueur totale de réseau : 90,1 km

Figure B - Ravines principales de la zone 2



Longueur totale de réseau : 25,3 km

Planche 1.3. - Analyse des directions du réseau hydrographique de la zone 2.

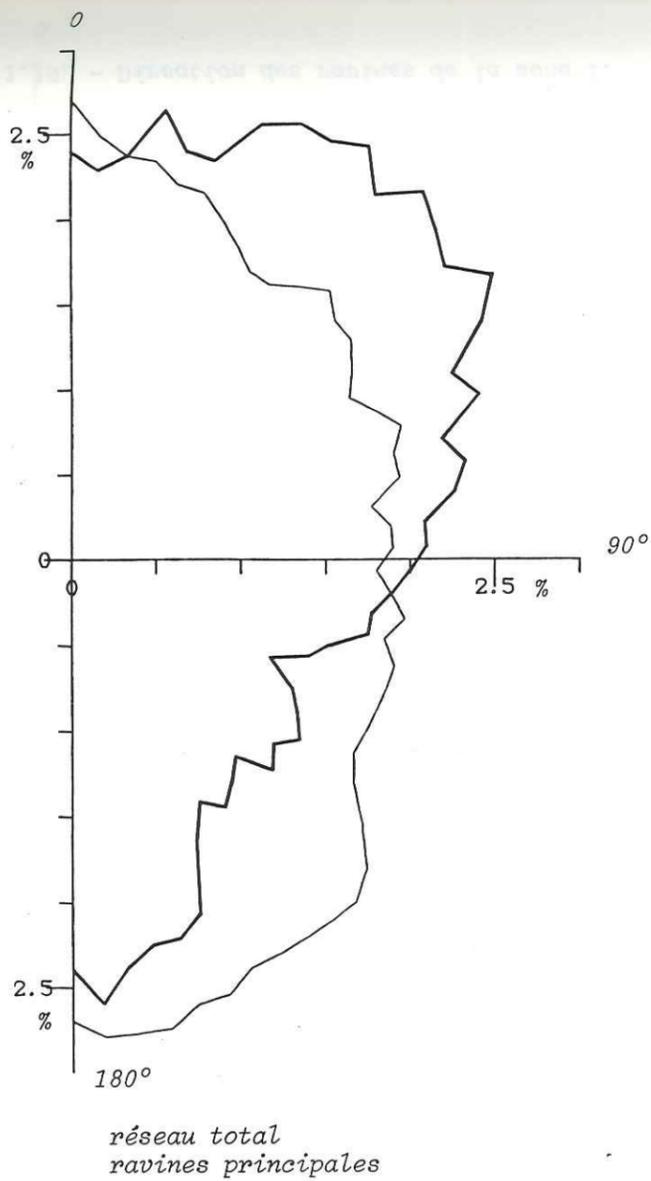


Figure 1.17. - Direction des ravines de l'ensemble du cirque de Salazie.

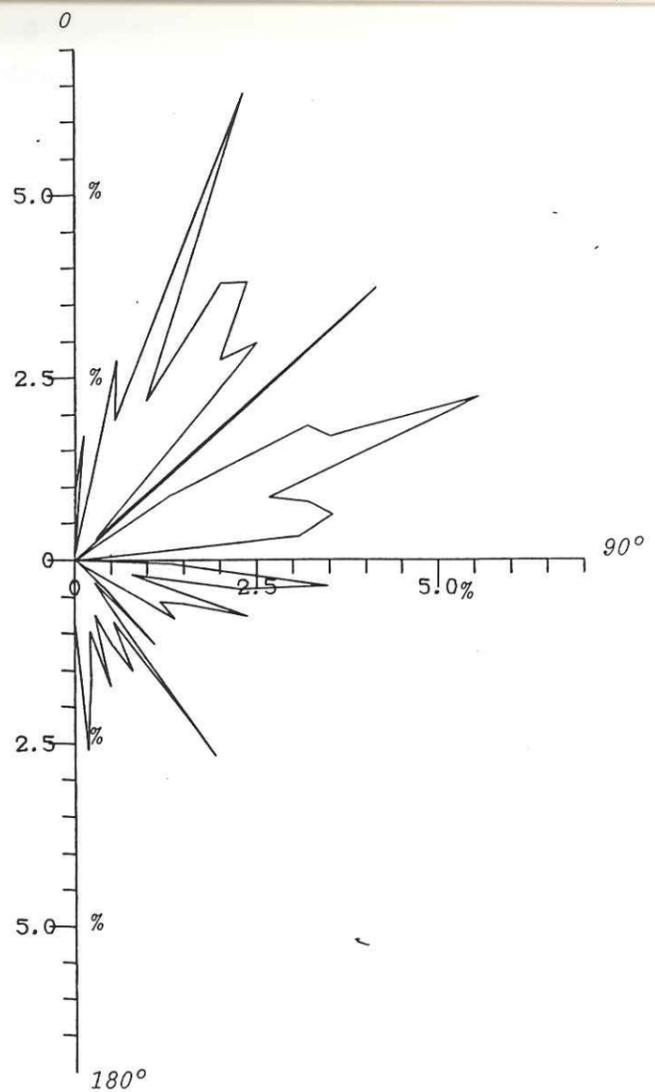


Figure 1.18. - Direction des remparts du cirque de Salazie.

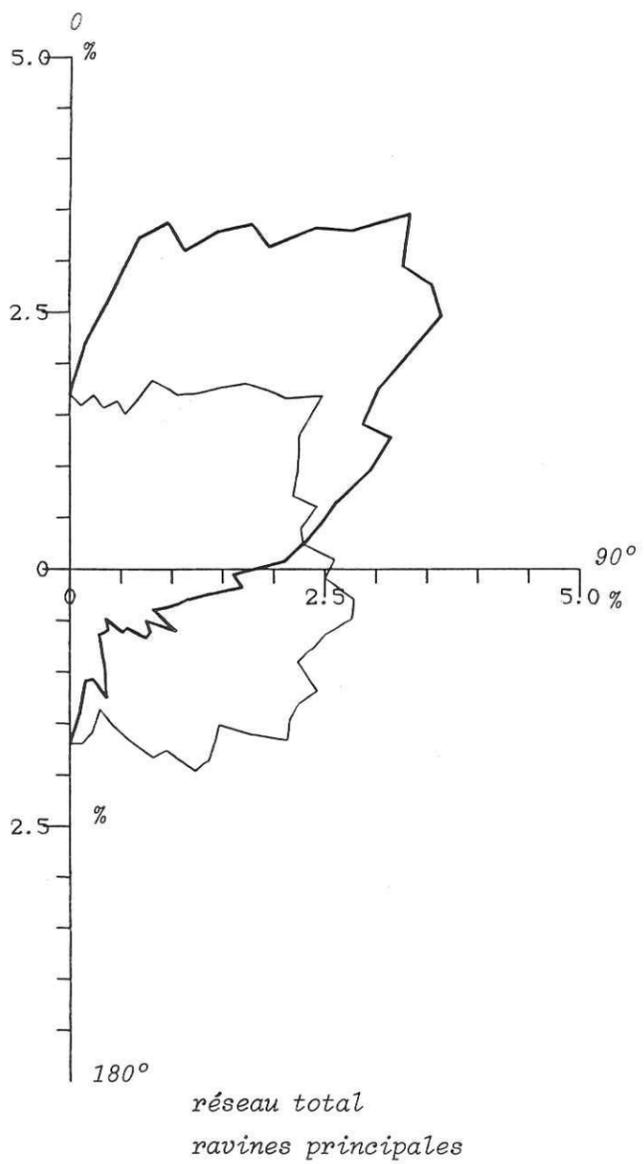


Figure 1.19. - Direction des ravines de la zone 1.

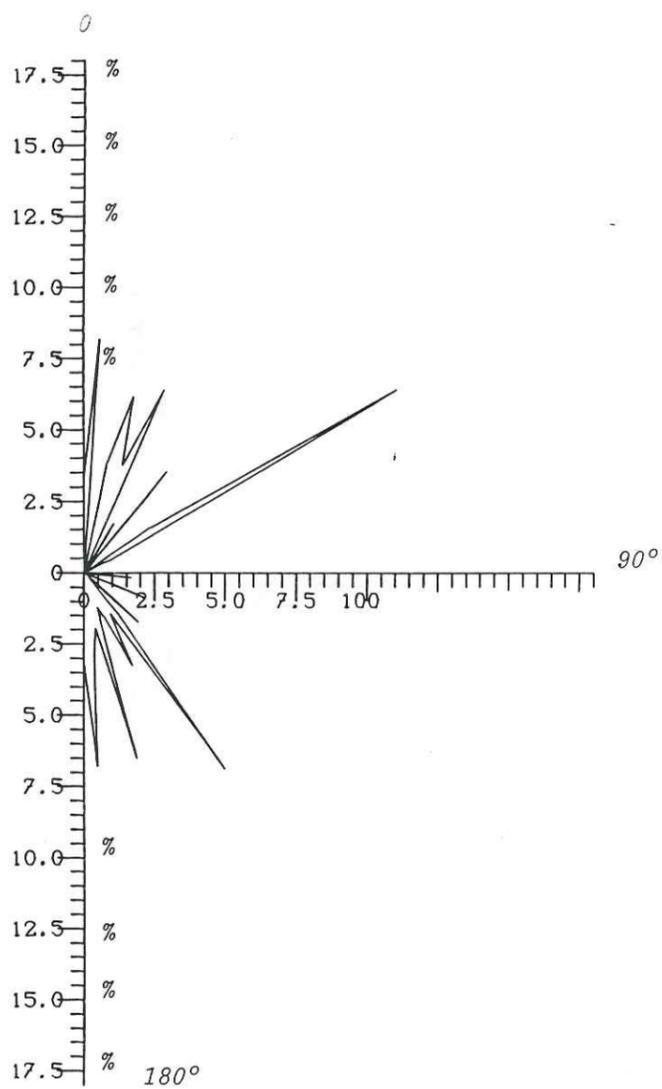


Figure 1.20. - Direction des remparts de la zone 1.

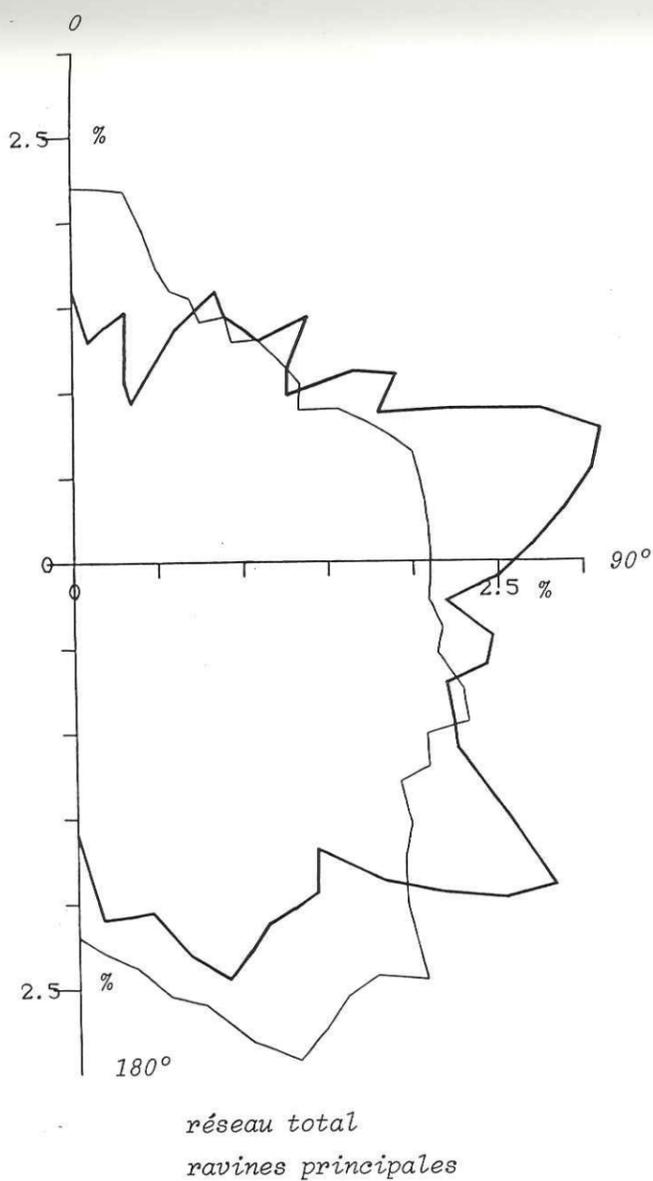


Figure 1.21. 6 Direction des ravines de la zone 2.

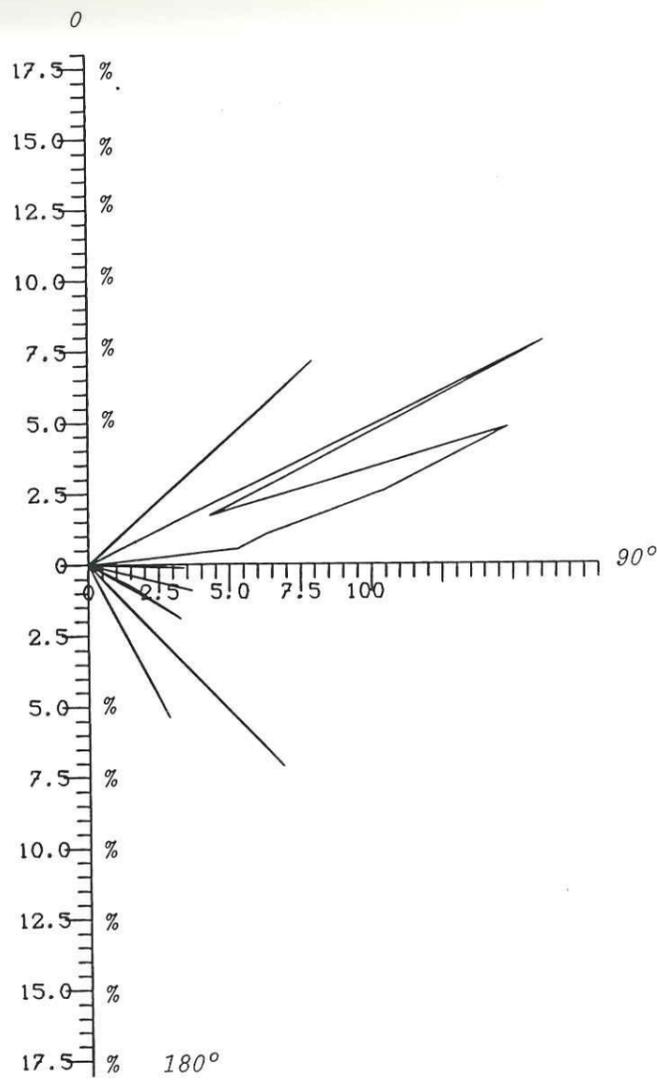


Figure 1.22. - Direction des remparts de la zone 2.

tel-00679334, version 1 - 15 Mar 2012

Le tracé des remparts, relevé sur la carte, a été schématisé par une ligne polygonale dont on a mesuré la longueur et la direction de chacun des segments, les directions étant ensuite réparties dans des tranches de 4° en 4°. Cette méthode élimine les directions de transition contrairement au traitement par analyse d'images mais permet d'obtenir, pour les directions les mieux représentées, des pics plus francs, et pour les rosaces des formes moins globuleuses (figures 1.18, 1.20 et 1.22).

2. Interprétation

On insistera davantage sur les zones 1 et 2 qui concernent le secteur de Grand Ilet (figures 1.15 et 1.16).

2.1. Généralités

La dispersion est maximale pour le réseau total. Les rosaces sont assez globuleuses avec une plage de directions légèrement plus marquée alors que les rosaces du réseau de ravines principales montrent des pics plus nets.

Les plages de directions les mieux représentées des deux cas de figure ne se correspondent pas et présentent des écarts de plusieurs dizaines de degrés. Par contre, certains pics isolés coïncident.

2.2. Réseau hydrographique de l'ensemble du cirque de Salazie

2.2.1. La totalité des ravines (planche 1.1 fig.A fig. 1.15 et 1.17)

L'influence de la topographie des remparts est manifeste. Si l'on superpose la rosace des directions de ravine à la rosace des

orientations des remparts après une rotation de $\pi/2$, on constate une coïncidence généralisée des pics. Les ravines annexes s'orientent selon la ligne de plus grande pente.

2.2.2. Les ravines principales (planche 1.1 fig.A fig. 1.16 et 1.17)

Les directions les mieux représentées sont décalées par rapport à celles de l'ensemble du réseau hydrographique d'environ $\pi/2$.

Par ailleurs, quelques unes sont identiques aux directions des remparts, les mieux représentées. Ceci pourrait indiquer une influence comparable des structures sur l'allongement des falaises et l'implantation des rivières.

2.3. La zone 1

2.3.1. La totalité des ravines (planche 1.2 fig.A, fig. 1.16)

Une rotation de $+\pi/2$ des directions principales des remparts entraîne une assez bonne concordance avec les directions les mieux représentées de l'ensemble du réseau hydrographique.

- N56 → N144 - N88 → N176 - N96 → N4

- N116 → N24 - N128 → N40 - N 148 → N 60

La direction de ces ravines est directement influencée par la ligne de plus grande pente.

2.3.2. Les ravines principales (planche 1.2 fig.B, fig.1.16)

Les directions se répartissent entre N16 et N68 avec une plage plus marquée entre N36 et N56, le pic étant à N44.

La distribution des orientations de remparts dans ce secteur est plus étalée.

Toutefois, deux plages de directions sont mieux représentées entre N16 et N60 et entre N140 et N176. Seule la première est en concordance avec les directions majeures du réseau hydrographique. Elle montre quatre directions principales qui peuvent être associées de la manière suivante à celles des remparts :

- N 16 → N 16

- N 24 → N 28

- N 40 → N 44

- N 60 → N 68

On verra que les correspondances sont apparemment meilleures pour la zone 2 mais cela peut être lié à la méthode utilisée. On travaille en effet, sur des intervalles de 4 degrés, que l'on représente par un point : en réalité, à l'intérieur de ces tranches, la direction majoritaire peut être très proche de l'une des limites. Dans ces conditions, un écart de 7 à 8° reste dans le domaine de précision de la méthode.

2.4. La zone 2 (figure 1.15)

2.4.1. La totalité des ravines (planche 1.3 fig.A, fig. 1.21)

Elle montre un maximum compris entre N140 et N160, que l'on peut associer aux directions N48 à N72 des remparts. Ici encore, les ravines mineures sont directement influencées par la ligne de plus grande pente.

2.4.2. Les ravines principales (planche 1.3 fig.B, fig. 1.21)

Elle montre trois maximums : N76, N124 et N164. La dernière valeur peut être éventuellement reliée à la ligne de plus grande pente. Par contre, N124 est assez proche de la direction N136 du rempart et N76 se confond presque avec N72.

Cette concordance permet de penser qu'un facteur commun est à l'origine de la direction des remparts et des rivières principales.

L'étude de la zone 2 suggère donc qu'un rôle serait joué par deux directions structurales approximativement N70 et N125 à N130.

3. Analyse structurale et étude statistique des directions de ravines

Corrélation possible et interprétation

3.1. Remarques préliminaires

- Les hypothèses que nous présentons demandent à être complétées et confirmées. L'analyse structurale porte sur les trois cirques alors que l'étude des directions de ravines ne concerne que le cirque de Salazie. Toutefois, si les directions structurales mises en évidence sont réellement régionales, cette restriction géographique ne doit pas entraîner d'erreurs fondamentales. Tout au plus, l'effet de certaines directions peut-il être occulté par des contraintes topographiques locales.

- Nous ne prenons en compte ici que la direction des ravines principales, l'influence directe de la topographie sur le réseau mineur étant trop forte.

- Les résultats sont très dispersés. Nous avons choisi de ne prendre en considération que les classes égalant ou excédant 2,5 % du total de la zone traitée. Ce choix permet de retenir un nombre limité de directions, comparable à celui des directions structurales.

- Après analyse critique de 2 000 mesures, la synthèse de RANCON, faisant suite aux travaux de RANCON et STIELTJES, a retenu comme significative :

N 25-30

N 45

N 80-90

N 120

N 150

N 165

Le choix retenu résulte d'une interprétation des résultats bruts du traitement statistique des directions de dykes (tableau 1.1). Les trois directions N 5, 15, 33 considérées comme mineures, car isolées, ont été abandonnées. Quant à la direction N55-65, seulement présente à l'entrée du cirque de Salazie, elle a été considérée comme correspondant à une dispersion locale des familles N45 et N80-90.

Secteurs angulaires des pôles des familles d'intrusion	Dénomination statistique de la famille intrusive
N 179 - N 5	N 5
N 15	N 15
N 23 - N 25	N 25
N 33	N 33
N 44 - N 48	N 45
N 53 - N 65	N 55-65
N 79 - N 93	N 80-90
N 113 - N 124	N 120
N 148 - N 153	N 150
N 159 - N 173	N 165

Tableau 1.1.
Résultat de l'analyse statistique des directions de dykes.

32. Corrélations pour l'ensemble du réseau hydrographique du cirque de Salazie

Les directions les mieux représentées sont les suivantes :

N 12 N 36 N 44 N 56 N 68 N 176

N44 et N176 : peuvent être assimilées à N45 et N165 qui sont rattachées à l'apparition d'un système distensif en étoile au début de la mise en place des océanites récentes avant le développement de la caldera I.

N12 N36 N56 et N68 : correspondent à des familles mises en évidence par l'étude statistique mais qui ont été jugées mineures.

A l'échelle du cirque on constate que les directions N120

et N150, représentant les "rifts" originels, n'apparaissent pas. Il en est de même pour les directions de fractures appartenant à des épisodes autres que la mise en place des océanites récentes.

3.3. Corrélations pour la zone 1

Elle concerne l'amont de la ravine Roche à Jacquot et le secteur situé au Nord du Gros Morne, au-delà de la plaine des Merles.

Les directions les mieux représentées sont :

N16 N28 N44 et N68

N28 et N44 : correspondent aux familles N25-30 et N45.

N16 : correspond à une famille mineure N15.

N68 : est plus difficile à associer. On pourrait la relier à la famille N55-65 mais elle n'est représentée qu'à l'entrée du cirque alors que nous nous trouvons au pied du Piton des Neiges.

La famille 25-30, qui a joué lors des dernières phases d'activité du Piton des Neiges, apparaît alors qu'on s'approche du Gros Morne.

3.4. Corrélations pour la zone 2

Elles concernent les secteurs compris entre le Piton Be Massoune et la ravine Blanche.

Les directions les mieux représentées sont :

N76 N100 à N104 N124 N164

N124 et N164 : correspondent aux familles N120 et N165.

N76 : se rapproche de N 80-90

N100 à 104 : ne correspond pas à une direction structurale connue et s'explique mal.

D'autres pics de directions N28, N44 et N60 apparaissent mais n'atteignent pas le seuil de 2,5 % fixé au départ. Toutefois, ils sont bien individualisés et correspondent à des directions structurales déjà mises en évidence.

4. Conclusion

Cette étude n'a pas été suffisamment poussée pour en tirer des conclusions définitives, mais on constate un bon ajustement entre les directions majeures du réseau hydrographique et les directions structurales, ce qui confirme l'influence de ces dernières.

Les directions les mieux représentées (en particulier N45) sont identiques à celles que l'on a attribuées au système distensif en étoile, apparu entre la fin des océanites anciennes et l'apparition de la caldera I. Les grandes lignes du schéma d'ensemble qui aboutit à l'état actuel se dessine donc dès le début de la période des océanites récentes.

DEUXIEME PARTIE

DEUXIEME PARTIE

LES DONNEES GEOLOGIQUES

1. GENERALITES

1.1. Problèmes de cartographie

La cartographie géologique à 1/10 000 (annexe 3) a servi de base au présent travail. Elle a été réalisée en dépit des conditions d'exécution parfois difficiles :

- Le relief est très accidenté et certains secteurs sont d'accès malaisé sinon impossible ;
- En quelques endroits, la densité de la végétation empêche toute observation ;
- Les terrains détritiques les plus superficiels et les produits de l'altération (extrêmement rapide) occultent souvent les affleurements significatifs ;

Nous avons largement utilisé les photographies aériennes, tant pour le repérage des affleurements que pour la vision d'ensemble. Avec ses imprécisions, nous pensons que notre document permet malgré tout de comprendre la géologie du secteur et les types d'instabilité qu'elle induit.

1.2. La série géologique de départ

Elle est fournie par la carte géologique à 1/50 000 levée

par G. BILLARD et publiée en 1974. Son auteur distingue, dans les cirques, le soubassement rocheux, plus ou moins zéolitisé, regroupant les océanites anciennes et récentes, d'une part, et les ensembles d'épandage dont l'épaisseur peut varier de quelques mètres à plusieurs dizaines de mètres, d'autre part. Aucune distinction n'est faite dans ces dernières formations qui pourtant occupent la plus grande partie du fond du cirque.

2. LES GRANDS ENSEMBLES GEOLOGIQUES

2.1. Le substratum volcanique

Dans l'optique générale de notre travail, nous considérerons dorénavant comme substratum toute formation appartenant au bâti de l'île et qui n'a pas subi de mouvements gravitaires postérieurement à l'apparition de la caldera II, la mise en place de celle-ci étant le dernier phénomène tectonique d'ampleur régionale à avoir affecté notre secteur (cf. Géologie régionale). De plus, ce substratum constitue le niveau de base des écoulements du secteur.

Le substratum non zéolitisé comprend la partie supérieure des océanites récentes et la série différenciée. Il n'affleure que dans les remparts dominant Grand Ilet. Ces derniers sont stables à l'exception de quelques chutes de blocs ponctuelles. Ceci est confirmé par l'absence de talus d'éboulis actifs à leur pied. Dans le passé, ils ont fourni une part importante des matériaux détritiques en s'effondrant du fait de la rupture de leur assise.

Le substratum zéolitisé comprend les océanites anciennes et la partie inférieure des océanites récentes. Il affleure surtout dans l'encaissement des ravines. Nous ne distinguons pas les différents faciès lithostratigraphiques (océanites, brèche ancienne...). En effet, à la suite de nos observations de terrain, nous pensons que leur comportement vis-à-vis des manifestations d'instabilité sont identiques, les phases d'hydrothermalisation successives ayant contribué à l'homogénéisation des caractéristiques mécaniques de l'ensemble.

Les terrains du substratum, zéolitisés ou non, sont recoupés par de nombreuses intrusions de taille et de nature pétrographique très variables qui se sont mises en place selon les lignes de faiblesse préexistantes du massif dont elles témoignent aujourd'hui (cf. chapitre II Analyse structurale). Généralement plus dures et compétentes que leur encaissant, elles constituent l'ossature du substratum. Souvent ce sont elles qui détermineront le comportement mécanique du massif en fonction de leur épaisseur ou de leur concentration dans une zone précise. Nous reviendrons ultérieurement sur l'importance du rôle mécanique de ces intrusions.

Que ce soit des sills ou des dykes, leur pendage varie de l'horizontale à la verticale. De plus, pendage et direction peuvent changer, donnant ainsi des surfaces gauches, parfois en coupes, qui jouent un rôle important dans l'évolution morphologique du secteur.

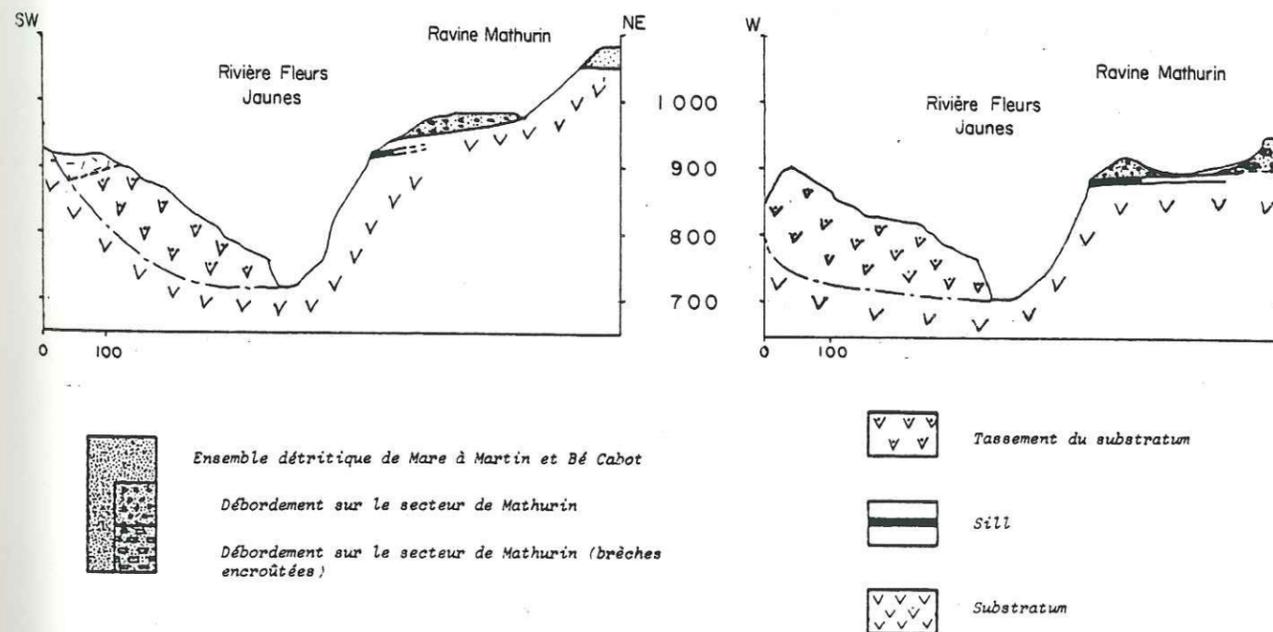


Figure 2.1. - Extraits des coupes 6 et 11.

La dureté relative des intrusions est suffisante pour qu'elles jouent un rôle de frein à l'érosion. Ainsi la rive gauche de la ravine Roche à Jacquot est-elle occupée par une falaise d'océanite ancienne, haute de 200 m, coiffée par un sill continu entre le confluent de la Ravine Blanche et celui de la rivière Fleurs Jaunes. Cette carapace protège les océanites de l'érosion et explique la verticabilité de la falaise (figure 2.1).

Les intrusions, constituant des discontinuités lithologiques franches, sont souvent dégagées par l'érosion : dans certains secteurs du substratum, elles représentent l'essentiel des affleurements, sous la forme de dalles structurales.

Il en est ainsi pour le tiers inférieur du versant est de Grand Ilet s.s. au Sud du CD 52. Un sill de trachyte, épais de 2 à 3 m, y dessine une vaste surface inclinée vers la rivière. Il se poursuit dans le fond des ravines où il est responsable de la position des sources. L'endroit lui doit son nom de "Roches Plates".

De même, le pied de la Roche Ecrite entre le pont sur la ravine Casabois et le captage de la Ravine Blanche est occupé par une dalle structurale inclinée à 40° vers l'Est. Jusqu'à ce jour, cette dernière avait été interprétée comme la surface d'une coulée tardive, descendue du sommet de la Roche Ecrite. Nous pensons qu'il s'agit en réalité du toit d'une intrusion décapé par l'érosion et ce, pour plusieurs raisons :

- il n'y a pas de trace de coulée dans la partie haute du rempart ;
- l'épanchement des coulées sur des pentes aussi fortes ne conduit jamais à l'apparition d'un glacis régulier (surtout sur plusieurs centaines de mètres de largeur). D'autre part, cette régularité ne peut être imputée à une érosion ultérieure, vu l'hétérogénéité de leur structure interne ;
- la partie amont de la pseudo coulée est masquée par des brèches détritiques ; Or, pour tenir sur une telle pente, il leur faudrait avoir bénéficié d'une butée de pied, impli-

quant une érosion peu avancée du secteur. Cela est peu vraisemblable pour des brèches succédant à une coulée qualifiée de tardive.

Au contraire, l'hypothèse d'une intrusion dégagée par l'érosion lors du creusement du cirque ne contredit aucune des données précédentes.

Le secteur situé dans le coude de la ravine Roche à Jacquot (figure 2.2) vaut d'être mentionné car il représente une exception partielle à la définition que nous avons donnée du substratum. En effet, des formations attribuées à ce dernier sont affectées par un mouvement de tassement, sans pour autant que leurs caractéristiques propres s'en trouvent altérées.

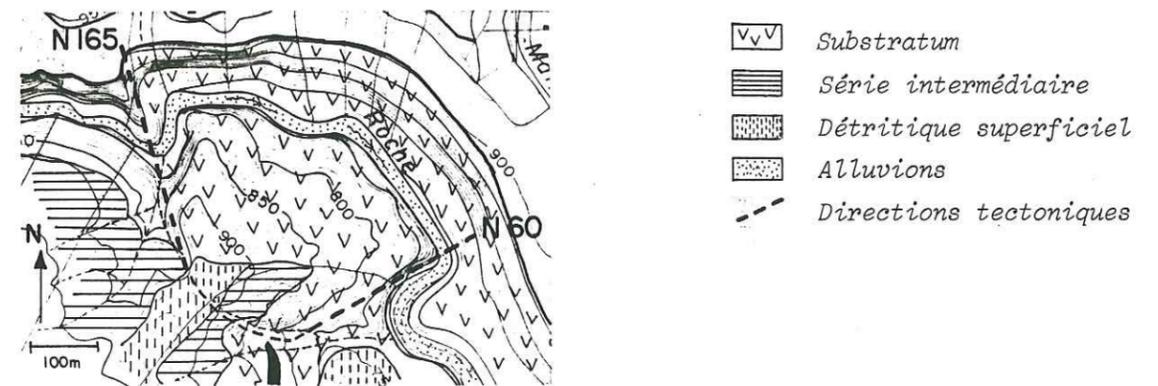


Figure 2.2

Les observations sont les suivantes :

- le paquet tassé est délimité par deux plans très redressés de direction N 165 et N 60, qui coïncident avec deux directions tectoniques régionales majeures (figure 2.2) et dont la convergence détermine une zone de faiblesse qui a permis par sa rupture le basculement du massif (photo 1).

tel-00679334, version 1 - 15 Mar 2012

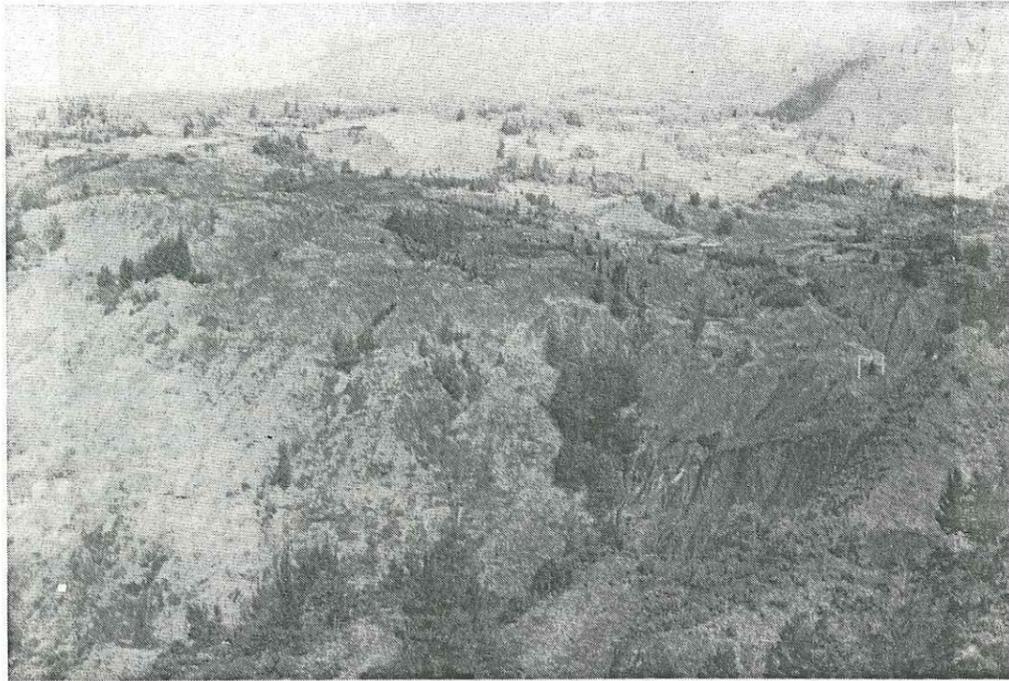


Photo 1. - Grand Ilet - Décrochement du contact substratum-unité intermédiaire.

- la translation semble s'être effectuée sur une pente forte, sans relais ;
- l'affaissement ne modifie pas le comportement hydraulique du panneau qui reste imperméable. La ligne de sources caractéristique de son toit est simplement inclinée vers le Sud et présente une concentration, au moins apparente, du débit de ces dernières qui peut être imputée à l'accentuation du pendage ;
- la partie basse du massif n'est pas atteinte par l'érosion en "Bad-Lands" comme on pourrait s'y attendre s'il appartenait en fait à l'unité intermédiaire.
- le cours de la ravine Roche à Jacquot est décalé face au panneau déplacé.

Le mouvement qui affecte ce panneau apparaît différent de ceux qui donnent naissance à l'unité intermédiaire. Il est guidé par des discontinuités structurales et n'altère pas les comportements propres au substratum.

Par contre, le décalage des niveaux n'appartenant pas à ce dernier témoigne d'un mouvement assez récent dont on explique mal l'origine. Il faut cependant rappeler que certains auteurs situent dans ces parages le passage de la dernière caldera du Piton des Neiges. On peut se demander si les déplacements observés ne correspondaient pas à un réajustement tardif selon les plans de rupture dus au phénomène volcano-tectonique.

2.2. L'unité intermédiaire

2.2.1. Nécessité de distinguer une unité intermédiaire

Nous avons pu constater que certains terrains ne semblent se rapporter ni au substratum ni aux formations détritiques. Ils présentent les caractères lithologiques du premier mais s'en distinguent par les traits suivants.

- éléments structuraux

Les intrusions présentent une fissuration intense selon laquelle on constate parfois des décalages centimétriques. Dès lors, elles ne remplissent plus guère leur rôle d'armature du massif. Les fissures sont peu visibles dans l'encaissant qui, moins compétent, absorbe une partie des déformations, et par ailleurs en conserve mal les traces.

Les contacts laves-scories, lorsqu'ils sont visibles, peuvent présenter des pendages anormalement forts, témoignant d'un basculement postérieur à la mise en place volcanique.

- comportement hydrogéologique

Les terrains ne montrent plus de ligne d'émergence correspondant aux contrastes lithologiques (et de perméabilité) car la fracturation généralisée les rend perméables en grand.

- sensibilité à l'érosion

Les terrains sont violemment attaqués par le ravinement qui donne naissance à des paysages de "bad-lands". Ce caractère morphologique est typique de l'unité intermédiaire et ne se retrouve pas pour les autres formations du secteur.

Ces terrains "intermédiaires" représentent donc en fait la tranche supérieure (environ une centaine de mètres actuellement) du substratum qui a été déplacée en masse. Le mouvement est à l'origine de déformations internes qui ont entraîné la détérioration des caractéristiques mécaniques du matériau originel et l'apparition d'une perméabilité de fissures qui permet à l'altération de gagner plus profondément le massif.

2.2.2. Description des localités-types

■ Le premier exemple que nous décrivons se situe au Sud du hameau du Béliier. On observe ici un panneau bien individualisé de l'unité intermédiaire.

Ses contours sont d'autant plus nets qu'ils sont soulignés, sur une bonne partie de leur tracé, par l'incision des deux ravines Piton Marmite et Azaye (Figure 2.3.), dont la position a été déterminée par la limite de l'affleurement du substratum.

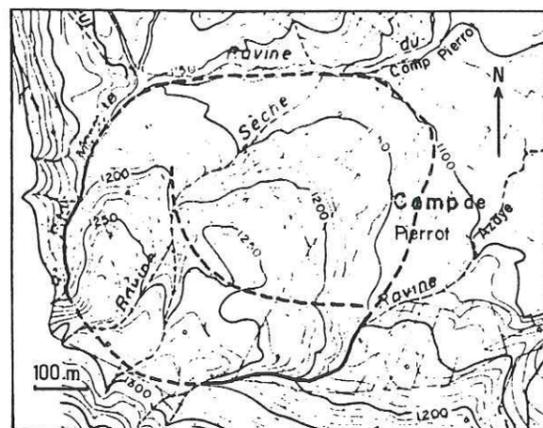


Figure 2.3.- Extrait de la carte topographique - Limites du panneau.

- limite observée
- - - limite interprétée

La simplicité schématique de ce secteur a été déterminante dans notre parti de traiter la série "intermédiaire" comme une unité structurale distincte.

Une comparaison entre les deux rives de la ravine Piton Marmite permet de bien saisir le contraste entre les deux formations présentes (figure 2.4).

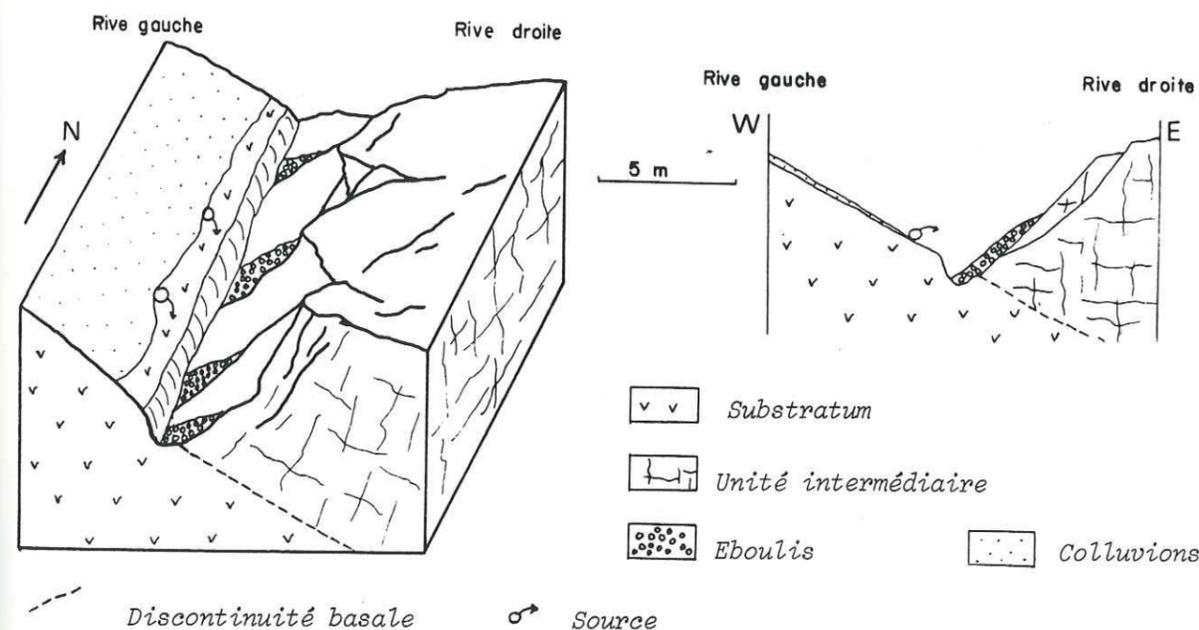


Figure 2.4.- Bloc diagramme et coupe de la Ravine Piton Marmite.

La rive gauche - Le substratum massif affleure. Il est peu fissuré et légèrement entaillé par la ravine. Il apparaît localement dans son lit, partout ailleurs encombré de blocs, soit d'origine torrentielle soit, le plus souvent, éboulés de la rive droite.

- Des sources ou pour le moins des suintements existent dans la partie haute de la rive gauche au contact entre les océanites et le sol colluvial peu épais.

La rive droite - un réseau de fissures très serré découpe les roches. La teinte générale est plus claire que celle des océanites avec des nuances rouille .

- la rive montre une alternance de ravins secondaires et d'éperons dont les parois disloquées alimentent de nombreux éboulis. Localement, c'est par panneaux épais de quelques mètres qu'affaissements puis écroulements se produisent. La rive est absolument sèche.

Ce schéma se vérifie tout au long de la ravine jusqu'à un coude vers l'Ouest, à partir duquel elle entaille le substratum, laissant disparaître, sous des matériaux détritiques, la limite du panneau déplacé.

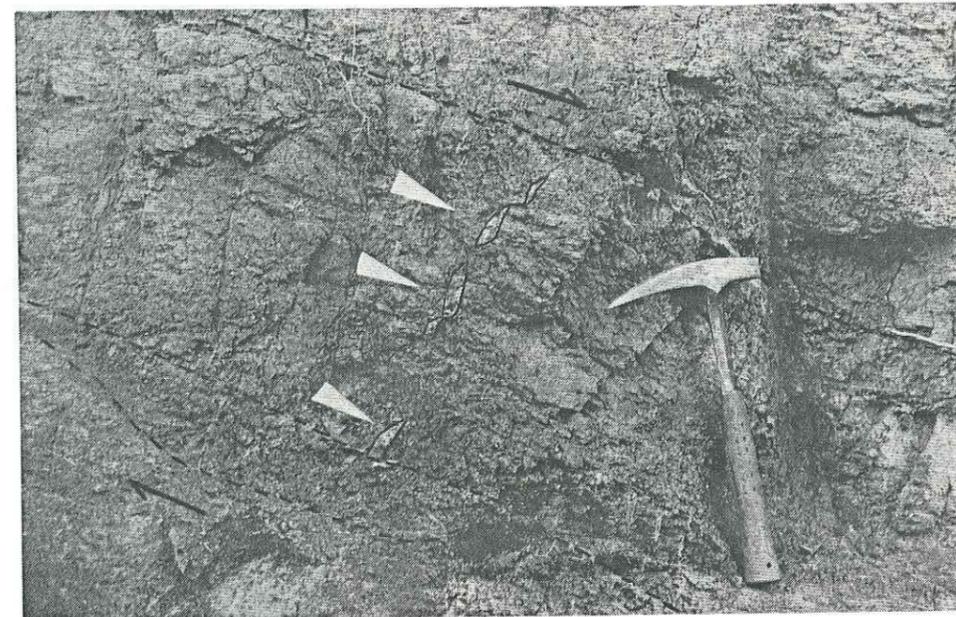
La ravine Azaye marque aussi, dans sa partie amont, la limite entre le substratum et l'unité intermédiaire.

La rive droite - la surface structurale formée par un sill à pendage aval l'occupe entièrement.

La rive gauche - la teinte varie du gris sombre au beige; en séchant, la surface prend un aspect sableux.

- le matériau est intimement fissuré, il est impossible d'extraire des blocs de quelques dm³, car ils se disloquent au choc.

- certaines intrusions sont très altérées et apparaissent sous formes de fantômes (Photo 2). D'autres sont mieux conservées mais intensément fracturées, tout autant que leur encaissant. La fracturation n'est donc pas due à leur mise en place mais à un phénomène indépendant qui les aurait simultanément affectés.



Photographie 2. Intrusion altérée et fracturée dans la rive gauche de la ravine Azaye. Elle a servi de guide à un déplacement (←→) qui s'est localisé au long des joints peu cohérents que sont ses épontes (----). Elle a subi d'autre part une déformation interne, matérialisée par le tronçonnement et le décalage d'un filonnet transverse (▷). Il semble qu'un léger écrasement entraîne l'apparition d'une pseudo-schistosité. Cette hypothèse n'est étayée que par l'existence d'un délit en plaquettes millimétriques lorsqu'on brise le matériau.

Les deux ravines latérales ont permis d'observer les limites d'un panneau d'unité intermédiaire reposant sur le substratum par le jeu d'une discontinuité basale.

L'incision de la ravine Sèche permet d'étudier la structure interne d'un tel massif. Le nom est déjà significatif. En effet, la ravine ne fonctionne que lors de très fortes précipitations, alimentée par le ruissellement. En temps normal, l'infiltration est totale et l'on n'observe aucune émergence dans ce panneau ; ceci confirme la perméabilité de l'unité intermédiaire.

La coupe naturelle de la ravine, périodiquement rafraîchie par le torrent, montre systématiquement des failles normales à pendage aval (photographie 3).

Les intrusions sont peu épaisses et ne constituent pas une armature suffisante pour contrecarrer le jeu des failles. Toutefois, elles jouent le rôle de repères permettant d'estimer l'amplitude du mouvement : il n'excède pas 10 cm pour l'exemple de la photographie 4. Mais la multiplication des accidents conduit tout de même à l'apparition d'un profil en marche d'escalier pour le lit de la ravine (figure 2.6)

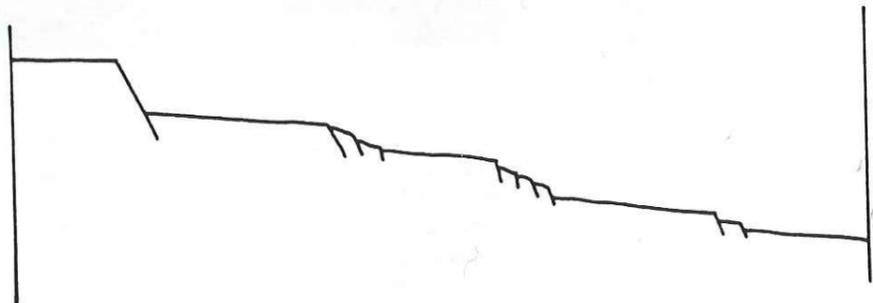


Figure 2.6. - Profil schématique du lit de la ravine.

■ Le flanc nord de Grand Ilet s.s., dominant la ravine Roche à Jacquot est extrêmement raviné, chaotique et d'aspect ruiniforme (figure 2.7). Plusieurs faciès de roches volcaniques s'y succèdent d'Ouest en Est.



Photographie n°4. - Failles successives décrochant une intrusion.

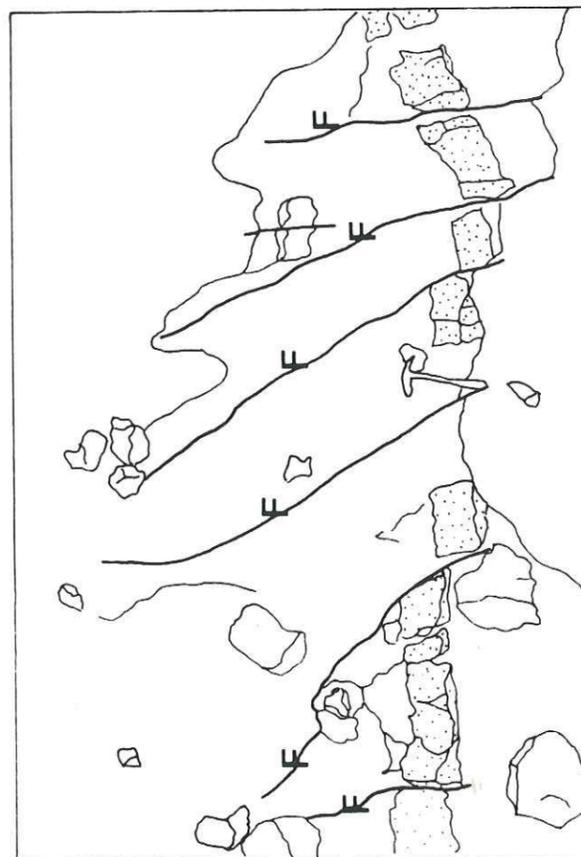
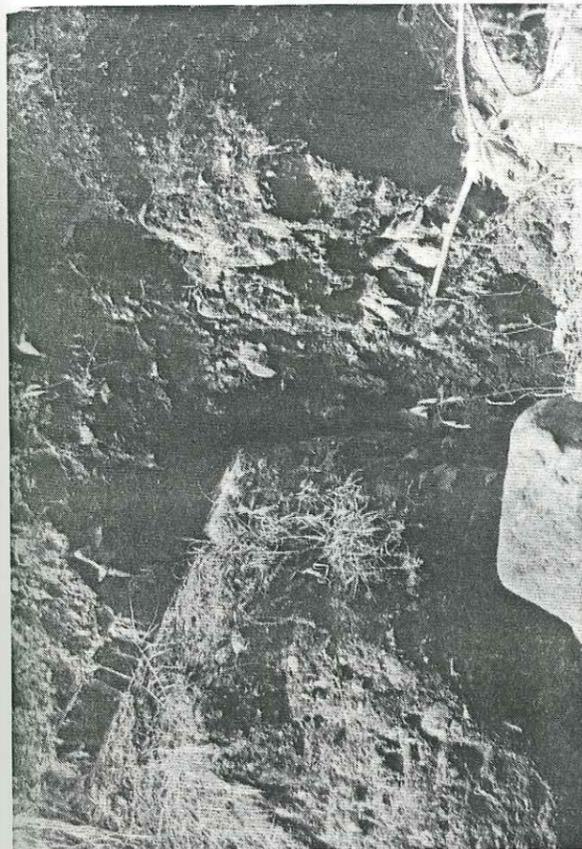


Figure 2.5 b. - Interprétation de la photo 3.



Photographie n°3. - Faille décrochant une intrusion.

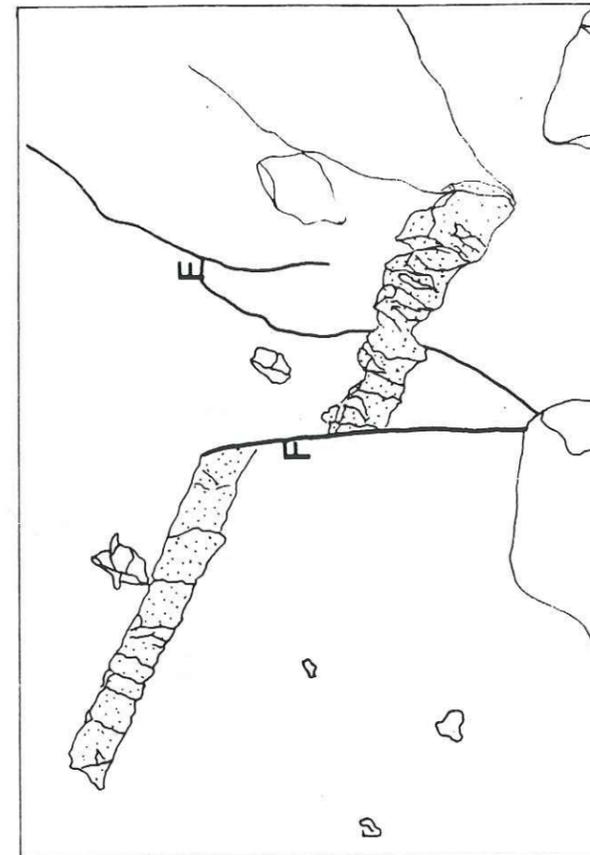


Figure 2.5 a. - Interprétation de la photo 4.

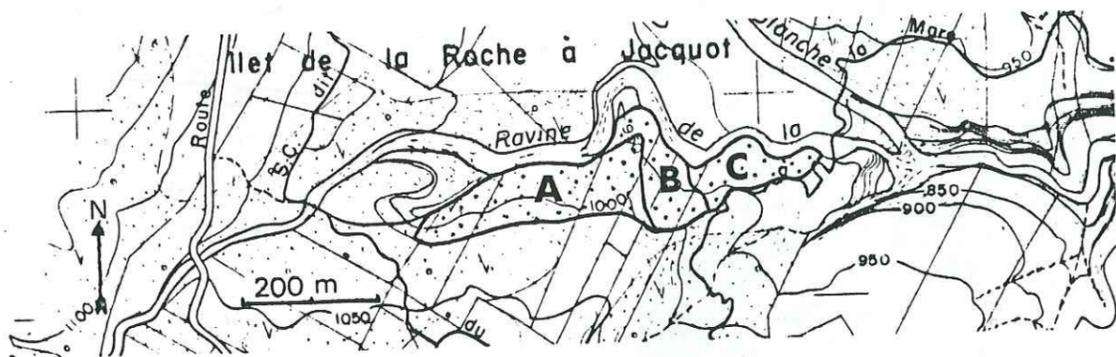


Figure 2.7.- Extrait de la carte topographique. Localisation de Grand Ilet s.s. avec les zones de facies de roches volcaniques.

Le secteur A est fait d'une alternance de lave-scorie où la teinte rouille domine. Une portion de ce dernier, délimité par deux ravins, fournit une coupe typique (figure 2.8).

- la structure originelle volcanique est bien conservée mais présente un pendage de 45° excessif si on ne fait pas intervenir un basculement secondaire du panneau.

- les niveaux compétents sont découpés par un dense réseau de fractures qui détermine la taille des blocs éboulés. De la sorte, la granulométrie des éboulis est peu étalée.

- une certaine hiérarchie dans le ravinement est marquée par l'existence de quelques ravins moyens qui s'encaissent de plusieurs dizaines de mètres. Ils sont probablement dus à la concentration de l'érosion sur les limites de panneaux déplacés. Malheureusement, les contacts que la lithologie permettrait de repérer sont occultés par les produits de démantèlement.

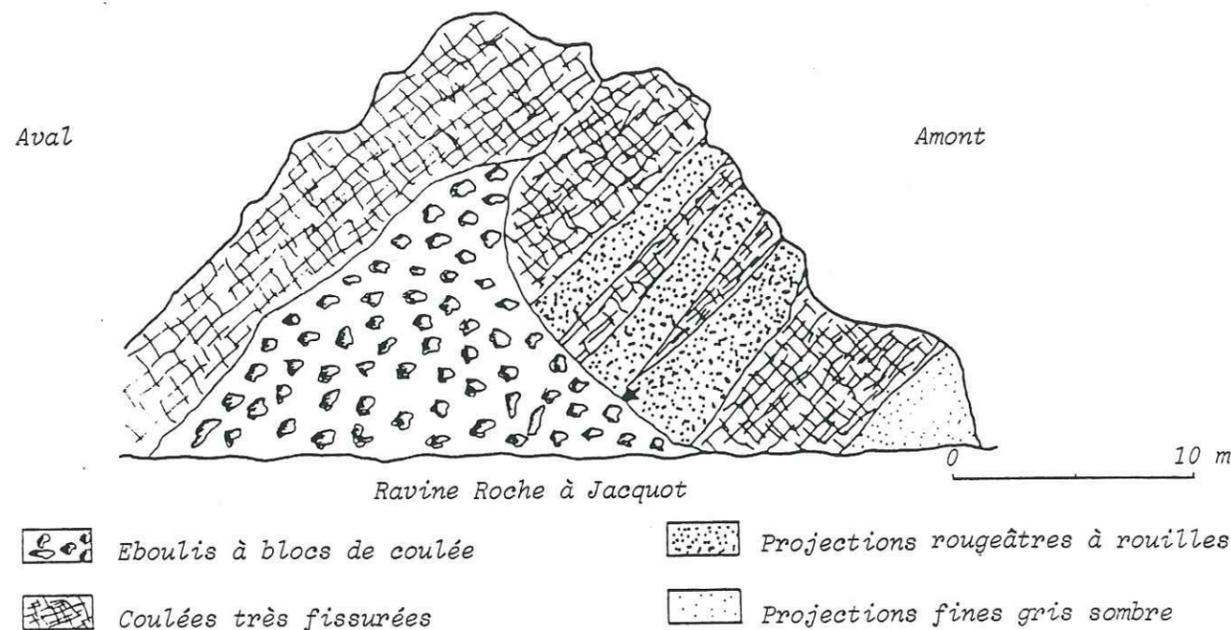


Figure 2.8.- Coupe schématique d'un panneau intermédiaire délimité par deux ravins majeurs. Il appartient au secteur A en rive droite de la ravine Roche à Jacquot.

Le secteur B (figure 2.7) se distingue par une teinte grisâtre et l'absence de contrastes lithologiques apparents. Il s'agit d'océanites déplacées.

Le secteur C (figure 2.7). La teinte rouille réapparaît, aucune organisation naturelle de type volcanique n'est observable.

- l'allure générale est celle de brèches volcaniques et de projections plus ou moins remaniées et broyées par les mouvements de l'unité intermédiaire.

■ Le versant est de Grand Ilet s.s. (figure 2.9)

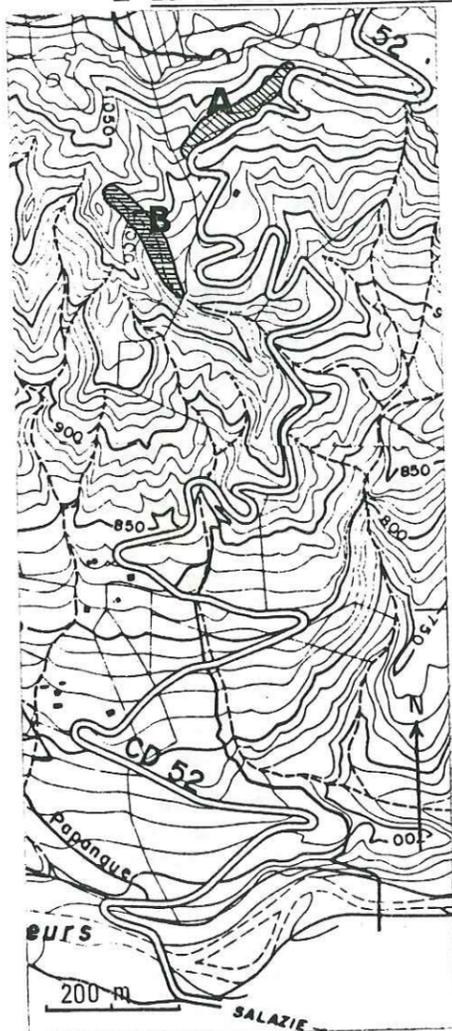


Figure 2.9.-Extrait de la carte topographique. Localisation des affleurements du versant est de Grand Ilet.

Le secteur A montre la frange corticale d'un panneau déplacé exposé depuis longtemps aux agents de désorganisation que sont l'altération, les précipitations et le ravinement dont l'influence se conçoit d'autant mieux que les terrains semblent relativement décomprimés.

On observe :

- quelques arrachements et glissements superficiels ;
- une teinte variant du grisâtre au noir, en fonction de l'humidité, avec de nombreux points blancs ;
- des intrusions encore visibles mais très fracturées dont l'extension latérale semble plus faible qu'à l'accoutumée ;
- une dégradation de la roche en un matériau sableux à graveleux (certains grains sont entièrement formés de zédites) qui masquent les structures propres du secteur.

Le secteur B montre une coupe plus fraîche dans un panneau déplacé et permet d'accéder à sa structure plus interne. On retrouve alors un schéma assez comparable à celui décrit précédemment pour la ravine Sèche.

On observe :

- les mêmes points que pour le secteur A
- une succession de ruptures à fortes pentes, accompagnées de l'affaissement systématique du compartiment aval. Mais ici, la destructuration est plus importante et complique les tentatives de corrélation.

L'étude des trois secteurs permet de dégager les caractéristiques suivantes pour l'unité intermédiaire :

- morphologie de "bad-lands",
- fracturation importante affectant aussi bien les intrusions que leur encaissant,
- affaissement systématique du compartiment aval en cas de décalage le long d'une fracture,
- basculement éventuel des structures d'origine volcanique,
- perméabilité de fracture.

2.2.3. L'unité intermédiaire : un héritage du mouvement gravitaire de grande ampleur

L'étude de terrain menée pour la réalisation de la carte géologique nous a permis de montrer que les panneaux attribués à l'unité intermédiaire ont subi des mouvements en masse. Nous nous attacherons ici à en décrire la géométrie, la dynamique et à en rechercher l'origine.

Leur ampleur les rend peu perceptibles à l'échelle des affleure-

ments (exception faite de l'exemple de référence présenté au début du paragraphe 2.2.2). Il faut disposer d'un recul suffisant que seules fournissent les photographies aériennes (nous avons utilisé les clichés 234, 235, 346, 347 et 348 de la mission 78 REU 103/250/IGN).

Vue dans son ensemble, la morphologie est caractérisée par des gradins plus ou moins étendus, limités par des talus en croissant, à courbure régulière et de pente assez accentuée. Cependant, cette disposition ne reste pas toujours très nette, l'érosion attaquant violemment les pentes, et les produits détritiques superficiels ayant tendance à empâter les détails structuraux.

Nous proposons un plan schématique (annexe 4) des limites qui nous semblent morphologiquement significatives. Elles présentent toutes une concavité comparable tournée vers la zone basse la plus proche. De telles formes sont le plus souvent le témoignage de phénomènes de mouvement de terrain. Les arcs les plus longs (annexe 4) supérieurs au kilomètre, ont des courbes irrégulières et un rayon beaucoup plus grand : en fait, le tracé proposé correspond certainement à la conjugaison de plusieurs niches successives que nous n'avons pu individualiser.

Avant d'exposer notre hypothèse nous rappelons les éléments géologiques dont il doit absolument être tenu compte :

- la surface de décollement, située à la limite du substratum et de l'unité intermédiaire, doit passer par tous les points où elle a été repérée à l'affleurement et présenter une pente compatible avec le sens présumé des mouvements, considérés comme gravitaires . A la limite et localement, cette pente peut être nulle.

- à défaut d'autres indices, et vu le contraste de perméabilité manifesté par les deux séries en contact, la présence de la surface de décollement sera présumée si l'on observe des alignements d'émergences;

- enfin, aucun affleurement du substratum n'ayant jamais été constaté à la surface des îlets, la surface de décollement devra toujours être située au-dessous des points les plus bas des plateaux cette reconstitution respectant d'autre part les conditions de pentes précédemment définies.

En fonction de ces données, nous proposons un schéma global illustré par les coupes géologiques des planches I à V (localisées sur l'annexe 3). L'interprétation oblige à scinder le secteur en plusieurs zones homogènes du point de vue de leur structure. On constatera qu'elles coïncident avec les limites géographiques des îlets.

■ Grand ILET s.s.

- Les traces de niches sont distantes d'une à quelques centaines de mètres. Leur espacement diminue à proximité des vallées principales et croît à l'approche des remparts, laissant une zone indemne d'indices de mouvement à leur pied.

- L'orientation des niches (figure 2.10) indique des directions de mouvements relativement divergentes. Cependant, le mouvement d'ensemble assez bien défini montre l'existence d'une pente générale approximativement N60.

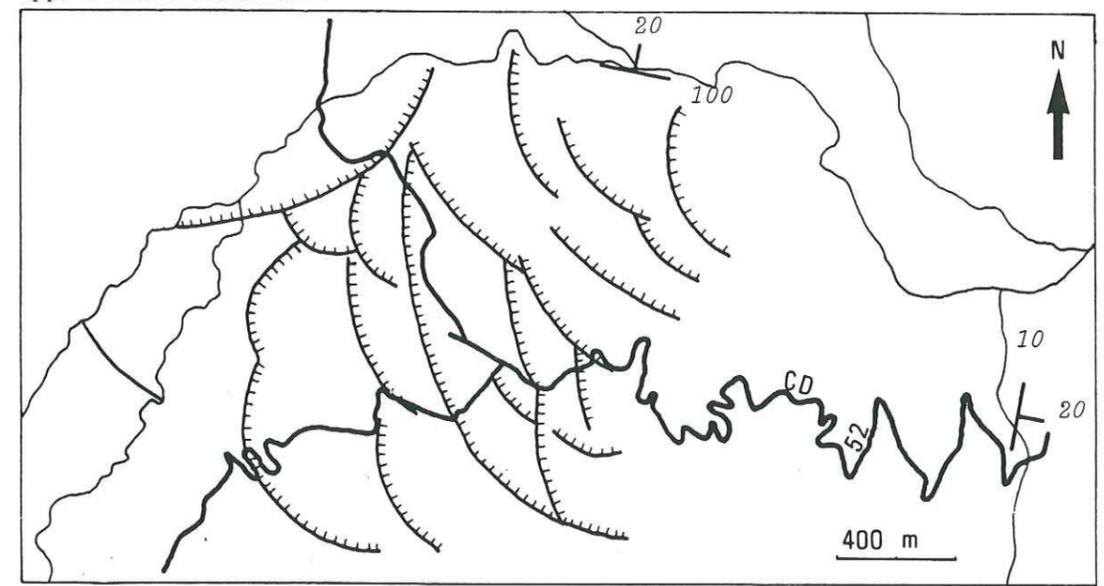
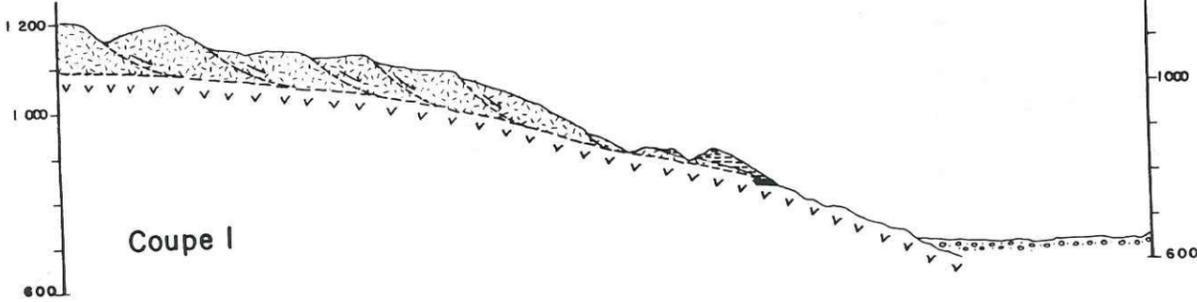


Figure 2.10.-Arcs de glissement de l'unité intermédiaire dans le secteur de Grand Ilet (repérés par photo-interprétation).
--- Arcs de glissement. / Penéage du sill ceinturant cet îlet.

tel-00679334, version 1 - 15 Mar 2012

W.S.W

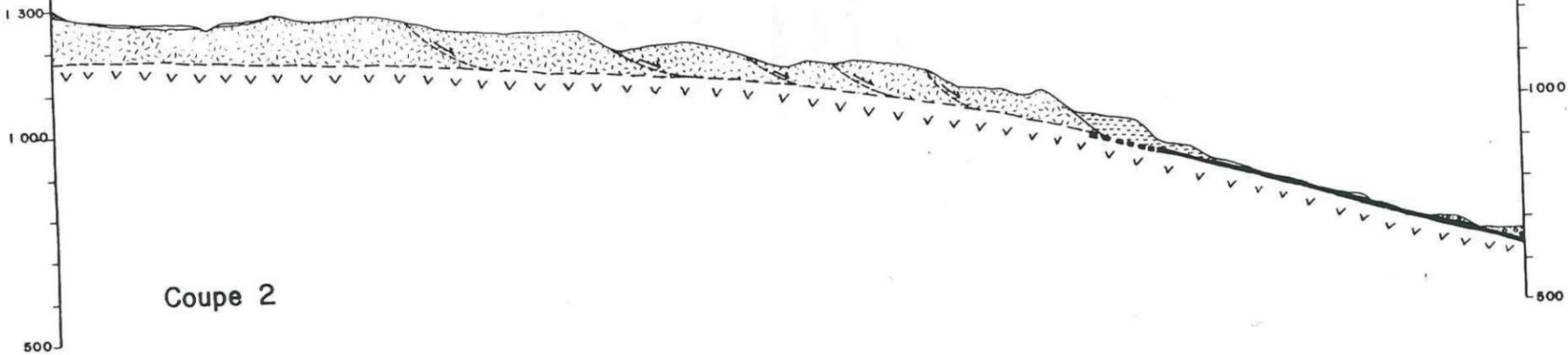
E.N.E



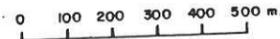
Coupe 1

W

E



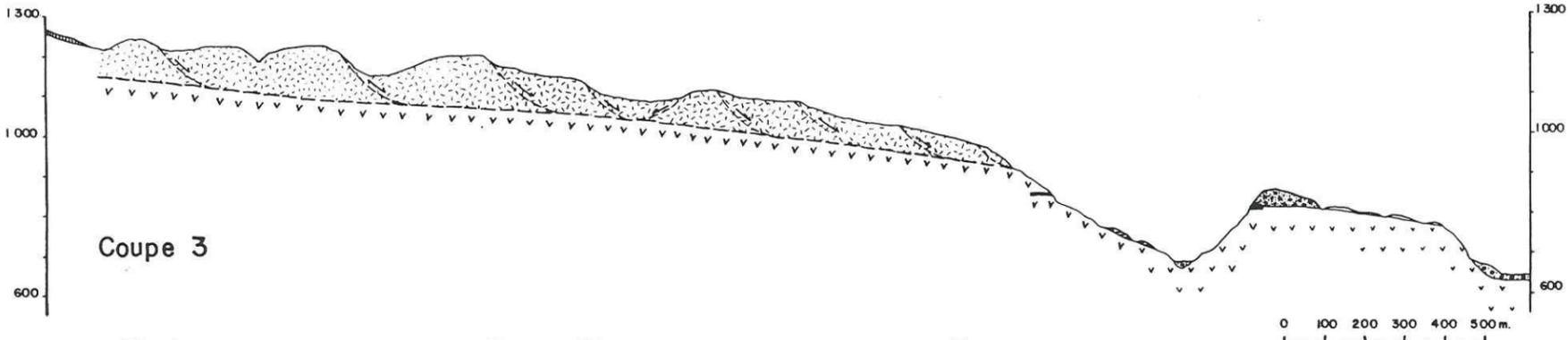
Coupe 2



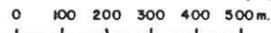
- 88 -

W

E



Coupe 3



W

E

W

E

900

900

900

900

800

800

800

800

700

700

700

700

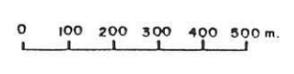
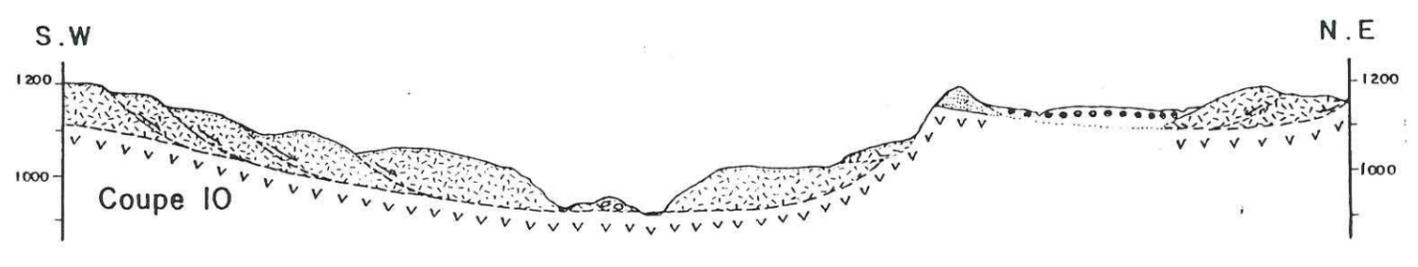
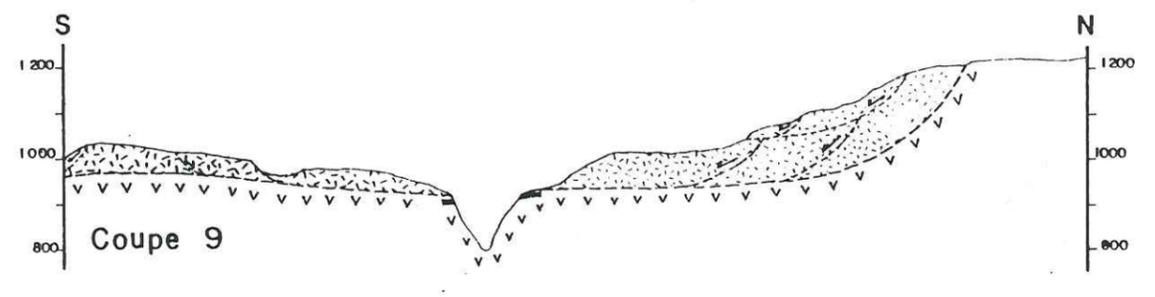
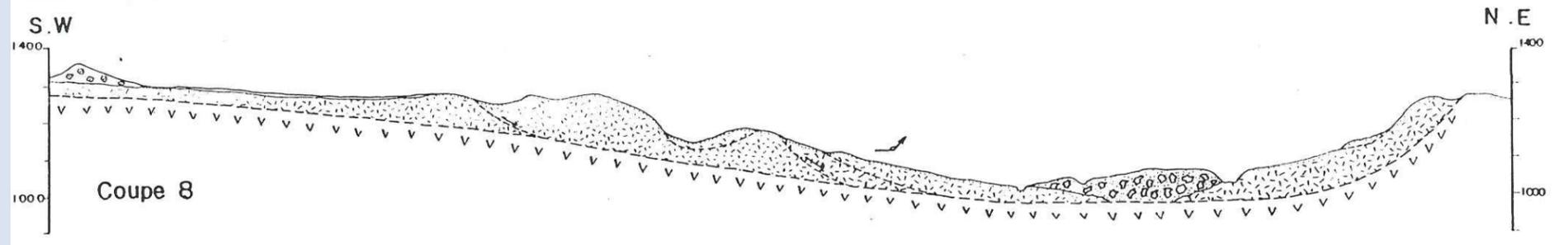
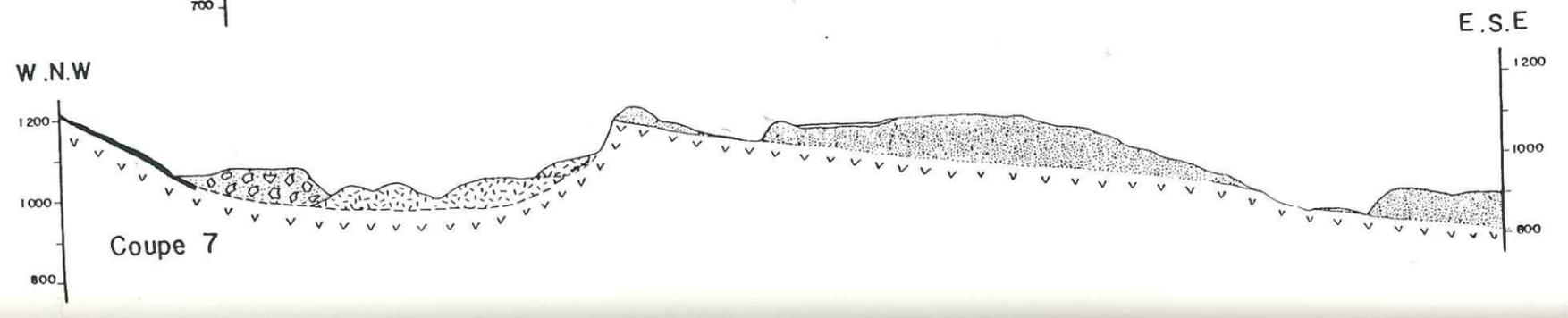
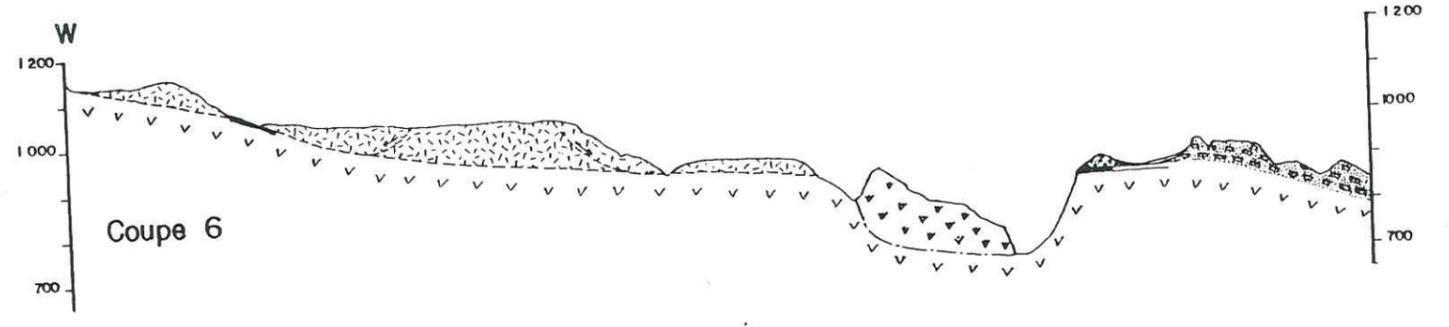
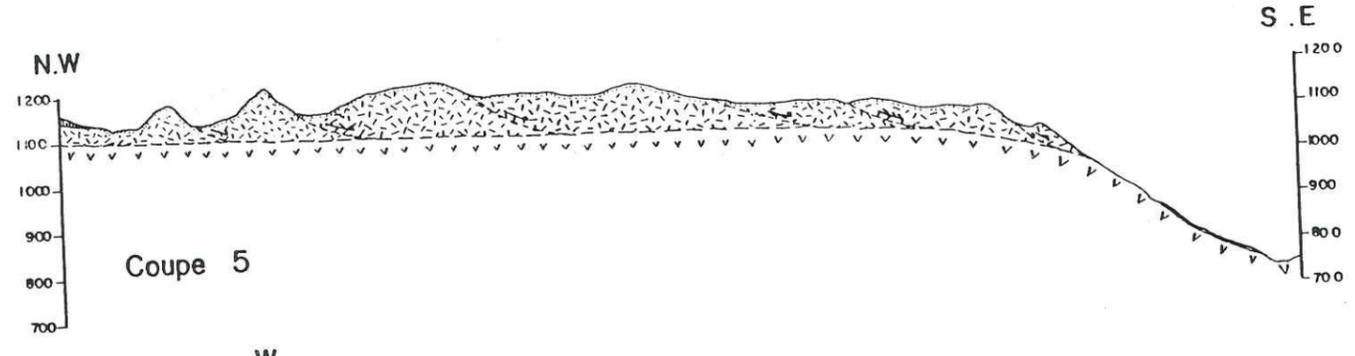
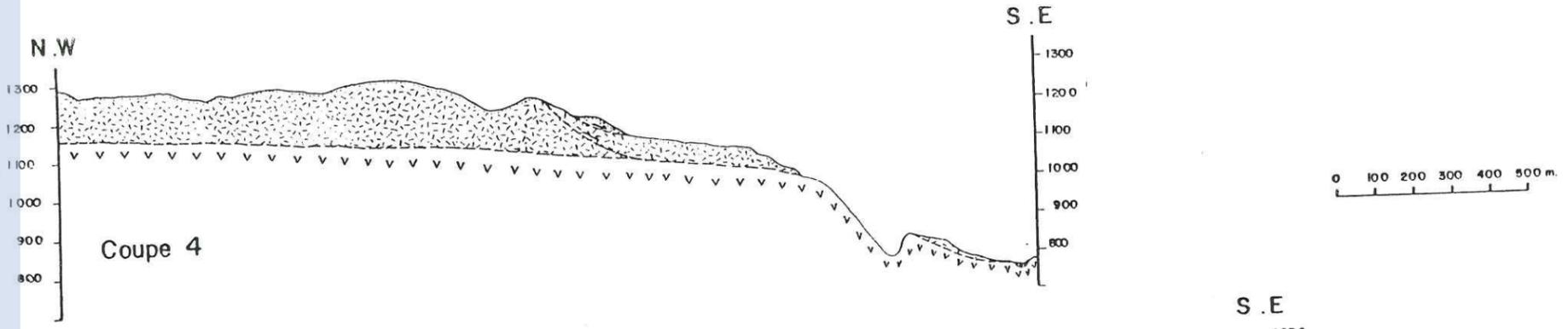
Agrandissements et interprétations de la rive droite de Roche à Jacquot



- 68 -

01 SEP. 2003

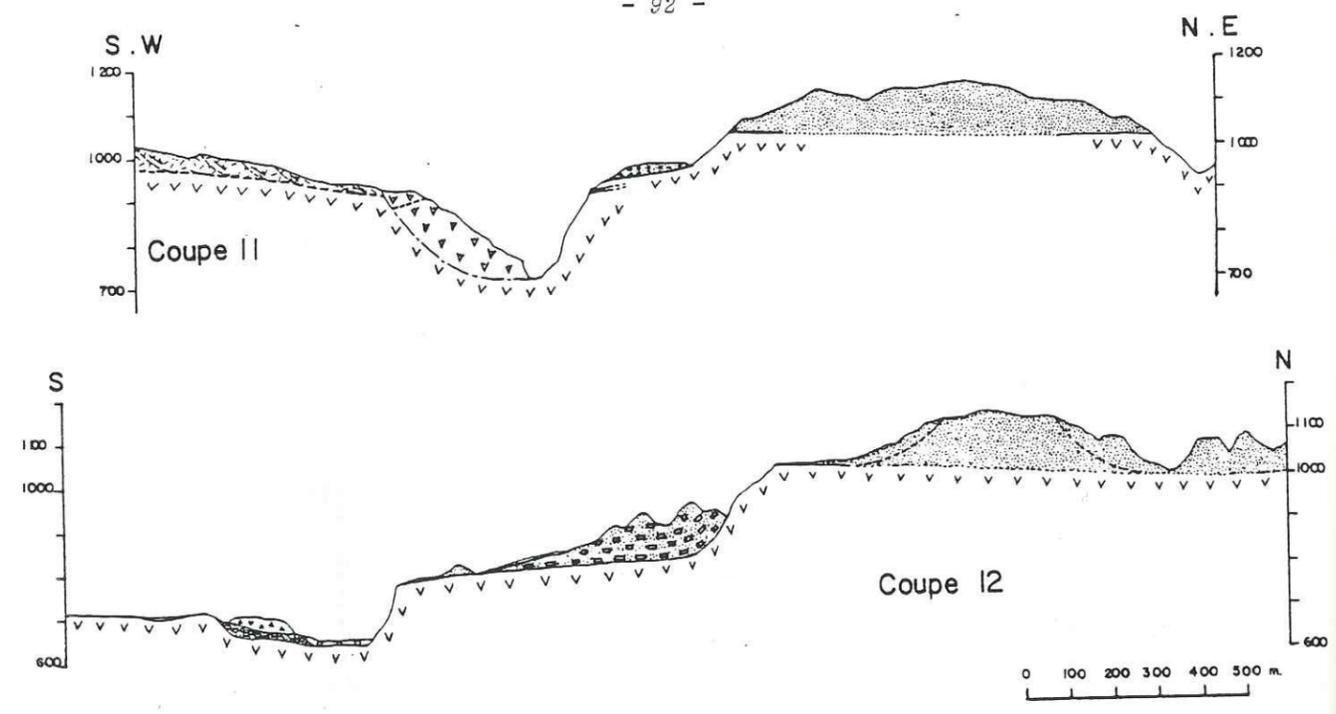
Univ. J. Fourier - O.S.U.G.
 MAISON DES GEOSCIENCES
 DOCUMENTATION
 B.P. 53
 38041 GRENOBLE CEDEX 03
 Tél. 04 76 51 4038
 Fax 04 76 51 4038



tel-00679334, version 1 - 15 Mar 2012

106

107



Légende des coupes I-à-I2

- Colluvions
- Alluvions modernes
- Alluvions anciennes
- Déboulé ("coulée boueuse")
- Epandage Mare à Martin
- Produits d'éroulement de remparts
- Eboulis à blocs cyclopéens
- Eboulis
- Remblayage détritique du flanc est de Grand Ilet (Fleurs Jaunes)
- Ensemble détritique de Mare à Martin et Bé Cabot
- Débordement sur le secteur de Mathurin
- Débordement sur le secteur de Mathurin (brèches encroûtées)
- Unité intermédiaire
- Tassement du substratum
- Sill
- Substratum
- Plan de décollement général de l'unité intermédiaire
- Surface de glissement
- Direction de glissement

- Les niches observées ne sont pas dues à des mouvements régressifs à partir de l'aval mais à une surface de décollement non plane qui provoque le glissement (et donc l'individualisation) de l'ensemble de l'unité intermédiaire et dont les irrégularités entraînent la rupture des terrains en de nombreux panneaux (à l'image des séracs d'un glacier).

- La surface de décollement semble présenter une forme générale en dôme très aplati qui expliquerait le resserrement des niches et l'amincissement de l'unité intermédiaire à l'aval, par un écaillage plus important.

A ce propos, une observation mérite d'être mentionnée. La direction et le pendage moyens du sill qui ceinture Grand Ilet à proximité du toit du substratum varient continuellement entre le radier de Fleurs Jaunes (N10 20E) et la grande cascade de Roche à Jacquot (N100 20N). La ligne d'intersection de ces deux plans a une orientation N55 pour un pendage de 15° vers le N.E. Or il se trouve que c'est l'orientation moyenne des mouvements des paquets glissés déduite de la photo-interprétation et que le pendage est très proche de celui du plan de décollement à la retombée sur les grandes rivières. Les données actuellement recueillies ne permettent pas de trancher nettement entre une pure coïncidence et une réelle corrélation.

■ Le Nord-Ouest de Mathurin (figure 2.11)

La photo-interprétation apporte assez peu d'informations. Toutefois, on observe :

- quelques paquets tassés bien circonscrits et de faible extension ;
- un affaissement plus important dont la géométrie est directement observée (photo 5). Il est limité par deux plans

tel-00679334, version 1 - 15 Mar 2012

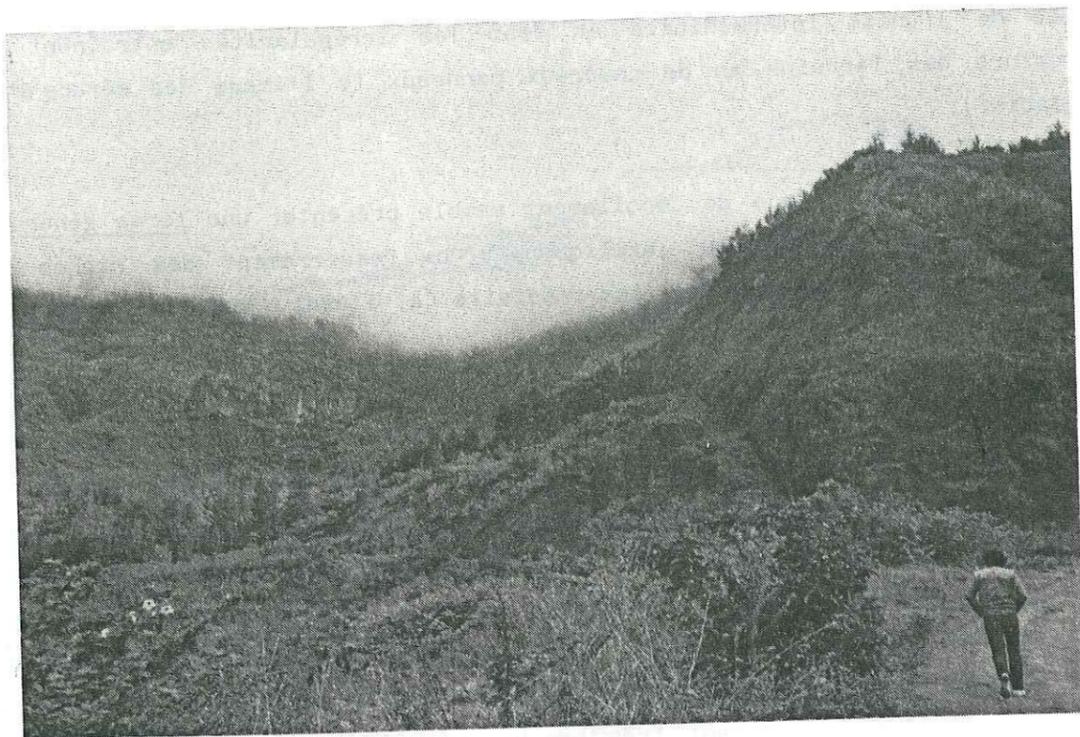


Photo 5.- Affaissement au sein de l'unité intermédiaire à Mathurin.
Le dièdre est abaissé selon deux plans sécants N120 60 SW
et N50 75 E. La valeur du décalage n'a pu être estimée pré-
cisément du fait de l'absence de niveau repère mais elle
atteint plusieurs dizaines de mètres.

sécants (respectivement N120 60SW et N50 75E) qui déterminent
un dièdre abaissé au minimum de plusieurs dizaines de mètres
selon une ligne N20 60S ;

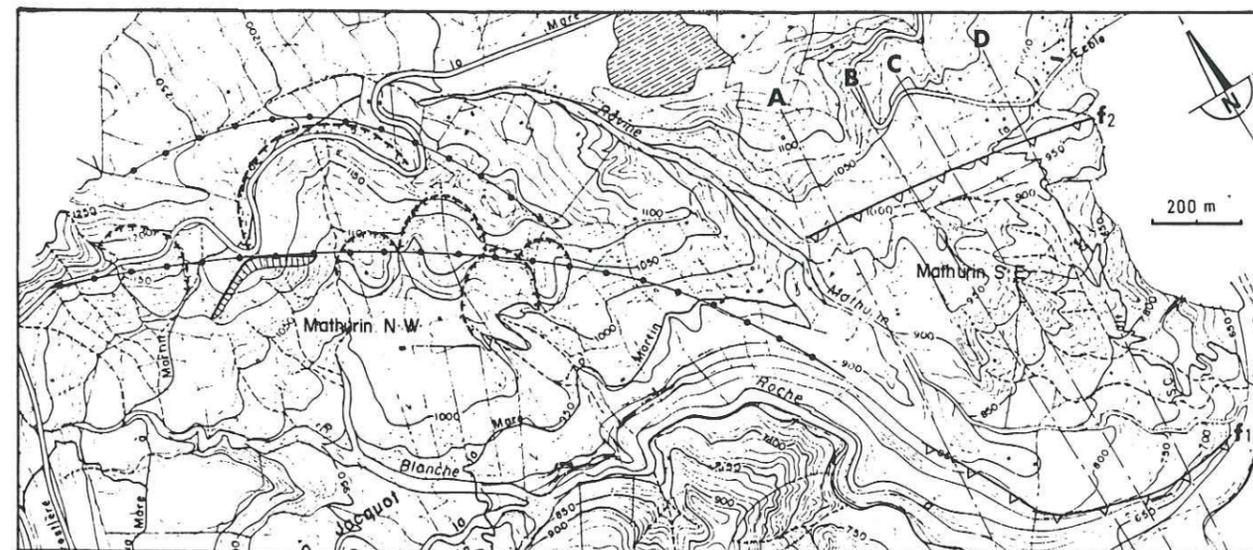


Figure 2.11.- Les secteurs NW et SE de Mathurin. Photo-interprétation.

- Arcs de glissement de panneaux d'unité intermédiaire.
- Glissements superficiels.
- Tassement de Mathurin NW.
- f1f2 fractures de Mathurin SE.

A B C D Localisation des coupes de Mathurin SE.

- des variations de lithologie permettent de prouver l'existence
d'un décalage (figure 2.12) mais, aucun niveau repère
n'existant, on ne peut le quantifier ;

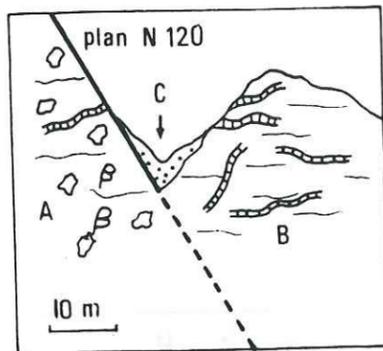


Figure 2.12.- Tassement de Mathurin. Coupe géologique perpendiculaire au plan N120.

- A. Compartiment nord essentiellement bréchi-que.
- B. Compartiment abaissé présentant une plus forte densité d'intrusion.
- C. Remplissage bréchi-que secondaire du pourtour du tassement, en partie dé-capé lors des épisodes pluvieux.

- la face est du dièdre est orientée selon une direction structurale majeure. Il est très probable qu'elle correspond en réalité à une zone d'affleurement exceptionnelle d'un plan de décollement plus vaste qui à l'Est comme à l'Ouest, est occulté par les corps des petits paquets tassés cités auparavant (figure 2.11). Ce plan est l'équivalent de ceux qui individualisent les panneaux de Grand Ilet s.s. ;

- un second, plus en amont, borde le plateau de Mare à Martin (figure 2.11 et coupes 7, 8, 9, 10) ;

- ils rejoignent en profondeur le plan de décollement de l'unité intermédiaire qui présente ici une forte pente. De ce fait, le décalage relatif des panneaux donne naissance à des reliefs importants qui sont le siège de mouvements plus superficiels de réajustement. C'est le cas de la vaste conque cernée par la route (coupe 9). Les schémas de la figure 2.13 permettent de synthétiser l'évolution du secteur.

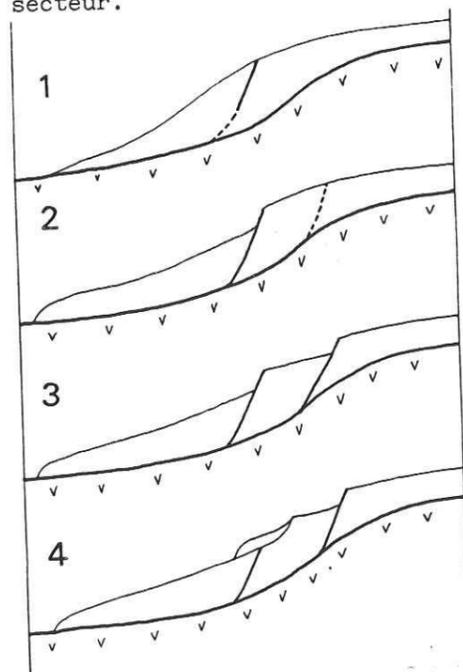


Figure 2.13.- Evolution morphologique du NW de Mathurin.

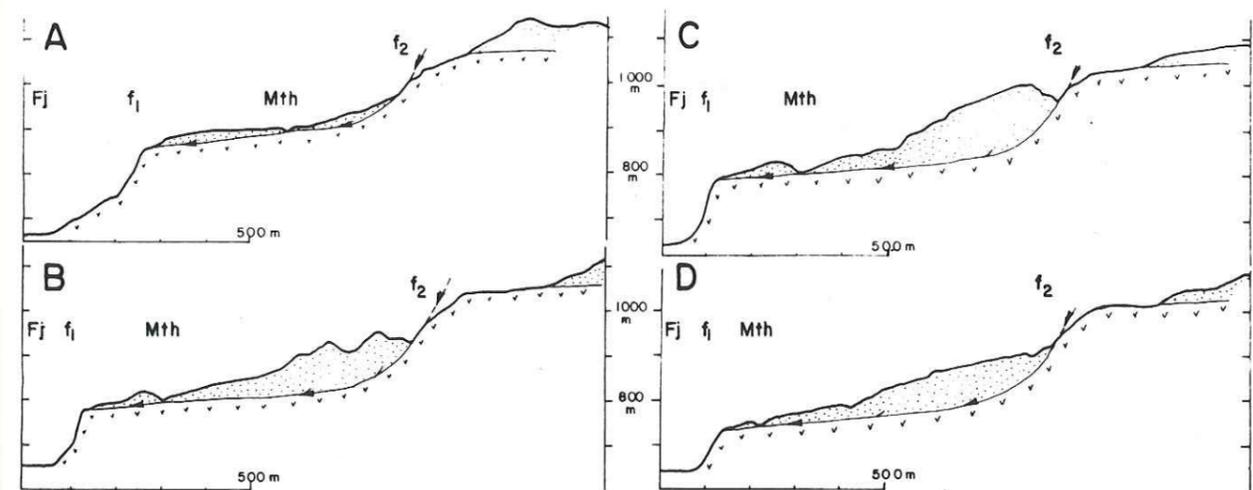
- Substratum
- Unité intermédiaire
- Plan de décollement

1. Apparition d'une première rupture qui atteint le plan de décollement profond
2. Déplacement, déséquilibre et individualisation d'un second paquet
3. Evolution avec mouvement sur la rupture amont
4. Glissement superficiel.

■ Le Sud-Est de Mathurin (figure 2.11 et coupe 11 et 12)

Ce secteur est plus délicat à comprendre et à interpréter, sa morphologie est marquée par deux falaises (F1 et F2, figure 2.11) distantes de quelques centaines de mètres.

- la falaise F1 s'explique par l'enfoncement de la ravine Roche à Jacquot ;
- la falaise F2 correspond à la niche de départ d'un panneau intermédiaire, éliminé en grande partie, voire en totalité, par l'érosion et l'évolution extrême du glissement. Par la suite, des matériaux détritiques provenant de Mare à Martin (décrits dans le prochain paragraphe) sont venus cacheter les cicatrices de mouvements et reposent directement sur le plan de décollement où éventuellement sur des lambeaux résiduels d'unité intermédiaire (coupe A.B.C.D. figures 2.11 et 2.14).



Substratum Formation détritique de Mare à Martin à Bé Cabot

Figure 2.14.- Coupe du SE de Mathurin ; la trace des coupes est indiquée sur la figure 2.11.
 - Le contact substratum/détritique, entre les falaises F1 et F2 correspond probablement à l'ancien plan de décollement de l'unité intermédiaire.
 - Son tracé est très fiable entre F1 et la ravine Mathurin et plus hypothétique entre cette dernière et F2.

tel-00679334, version 1 - 15 Mar 2012

Une autre hypothèse conduirait à interpréter la falaise F2 comme l'émergence d'un plan de faille qui s'enracinerait plus profondément. Dans ce cas, l'ensemble du compartiment sud de substratum serait abaissé. Ceci semble peu plausible car on ne trouve trace d'une telle structure ni en bordure de la rivière Fleurs Jaunes, ni à l'Ouest de la ravine Mathurin.

L'étude des secteurs précédents nous conduit à supposer que le mouvement de chacun des panneaux d'unité intermédiaire est assujéti à l'existence d'une surface de décollement générale située au toit du substratum.

Quelle que soit sa nature précise, elle présente des variations de pente et d'orientation. Alors qu'à Grand Ilet, elle avait une forme de dôme aplatie, à Mathurin, elle est plus "cylindrique" avec une accentuation de la pente selon une direction N120 sensiblement constante. Cette orientation est assez remarquable, très nette sur la carte des contrastes de pente (figure 2.15); elle correspond par ailleurs à une des directions structurales majeures de l'île. Nous y reviendrons à propos de l'origine de la surface de décollement.

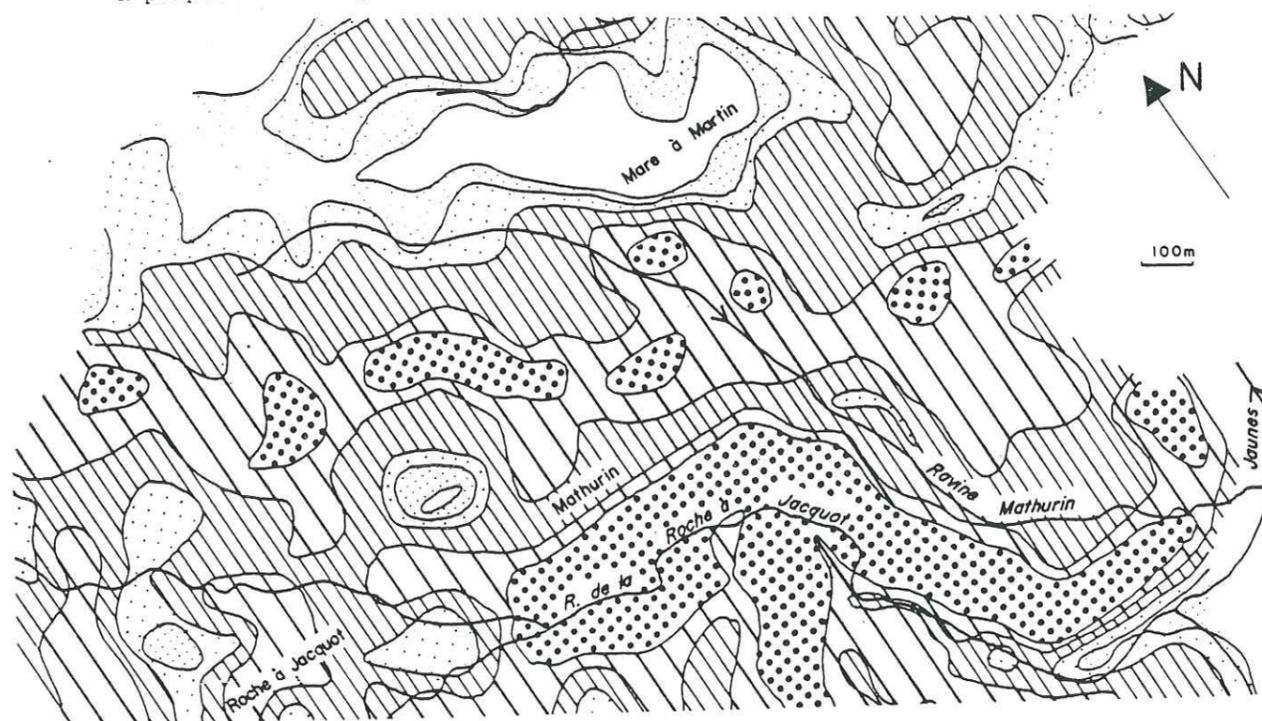


Figure 2.1. - Extrait de la carte des contrastes de pente

Notre définition de l'unité intermédiaire, de sa discontinuité basale et des mouvements de grandes ampleurs qui lui sont propres repose sur l'étude de quelques secteurs où les indices nous paraissent nets. Partout ailleurs nous avons recherché ces mêmes indices, et nous ne les avons pas toujours retrouvés. Il n'en est cependant jamais apparu d'autres incompatibles avec notre hypothèse.

2.2.4. Origine de la discontinuité et apparition de mouvements

Partout où la discontinuité basale existe, elle présente des irrégularités topographiques qui ne paraissent pas aléatoires. Il faut donc rechercher une influence régionale qui puisse expliquer l'origine d'une surface aussi continue et aussi étendue. Dans l'état actuel de nos connaissances, nous nous limiterons à une hypothèse qui exige de nombreuses vérifications.

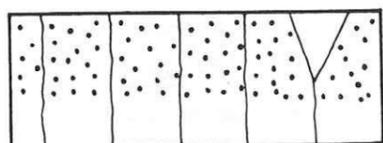
Le phénomène de décollement paraît affecter seulement les matériaux ayant subis au moins une, voire les trois phases principales d'hydrothermalisation. Or, parmi les minéraux caractéristiques de ce "métamorphisme", l'analyse aux rayons X révèle la présence de montmorillonite. RANCON (1982) avait déjà remarqué ce minéral argileux de la famille des smectites, mais ne s'en était pas préoccupé, car son travail portait essentiellement sur les zéolites. Elle est particulièrement importante (de notre point de vue), car il s'agit d'une argile gonflante, classiquement responsable de difficultés en termes de stabilité des terrains. D'autres secteurs ont montré, dans des contextes très différents, qu'elle disparaît au-delà d'une certaine profondeur fonction du gradient de température. Si donc nous imaginons l'édifice volcanique de l'île immédiatement avant le début du creusement principal des cirques, on peut concevoir qu'il recelait en son sein un niveau d'une épaisseur pour l'instant inconnue (peut être relativement modeste) doué de caractéristiques mécaniques médiocres. La surface basale de ce niveau était selon toute vraisemblance irrégulière ("front" de disparition des

tel-00679334, version 1 - 15 Mar 2012

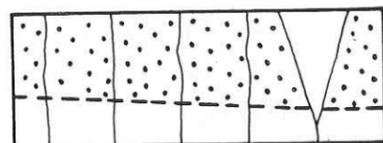
smectites) du fait même de sa nature mais aussi du fait de la forme des isothermes, influencés, eux, par les structures volcaniques profondes. Ceci pourrait expliquer l'accroissement de pente du plan de décollement à Mathurin où certains font passer la bordure d'une caldera. Dès que le creusement des cirques par les phénomènes d'érosion peut atteindre ce niveau de moindre qualité mécanique, des glissements de grande ampleur deviennent possibles.

De plus, l'imperméabilité du substratum d'océanites, dont la frange supérieure se sature peu à peu, favorise la fragilisation des roches par gonflement des smectites.

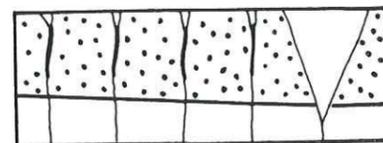
La rupture initiale au long d'une surface matérialisée par un contraste minéralogique et mécanique, est accompagnée par le fractionnement en panneaux de la tranche déplacée. Ces dernières ruptures suivent les lignes de faiblesse préexistantes, et en particulier toutes les discontinuités structurales (surface de dykes, de sill etc. figure 2.16).



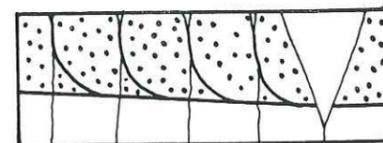
1. *Etat initial : le massif est découpé par de nombreuses fissures selon lesquelles peuvent s'enfoncer les torrents.*



2. *Les ravines ont franchi le mur des formations à montmorillonite et entaillent la formation sous-jacente. L'équilibre global est modifié. Un plan de décollement général s'individualise progressivement.*



3. *Le plan de décollement est continu. Les terrains se découpent selon les fissures préexistantes ou par rupture dans la masse.*



4. *Les panneaux ainsi découpés glissent lentement vers l'aval.*

Figure 2.16. - *Processus d'apparition du plan de décollement général.*

Des mouvements lents mais irrémédiables apparaissent : ils auront une influence permanente au cours de l'histoire des cirques. En particulier si les océanites, qui forment l'essentiel de l'unité intermédiaire, les supportent assez bien, il n'en est pas de même de la série différenciée sus-jacente. Celle-ci, beaucoup plus hétérogène, composée d'une alternance de niveaux très rigides (lave) et de niveaux plus meubles (scories) va se fracturer intensément et s'écrouler. Une partie des matériaux produits est alors prise en charge par les rivières qui les évacuent vers l'océan, ce qui explique le creusement rapide des cirques (1 000 à 25 000 ans) l'autre, resté sur place dans les zones où les mouvements sont stabilisés, y constitue des accumulations considérables (cf. Mare à Martin ou Bé Cabot).

Les mouvements se poursuivent actuellement car l'érosion est suffisamment rapide pour qu'il n'y ait pas d'ajustement du versant conduisant à une stabilisation. Les déplacements, habituellement lents, connaissent lors des épisodes cycloniques majeurs, des phases d'accélération qui peuvent les rendre perceptibles en surface. Ainsi, lors du cyclone Hyacinthe, des fissures se sont-elles ouvertes au coeur de Grand Ilet (annexe 4). Ce type de manifestation n'a pas de conséquences catastrophiques, même s'il engendre des désordres gênants (routes et bâtiments fissurés). Les problèmes se concentrent à la périphérie des îlets.

Les panneaux de l'unité intermédiaire sont alors peu à peu repoussés en direction des ravines qui les bordent et progressivement détruits par l'actions des eaux de surface et d'infiltration. Il en résulte des mouvements de matériaux de caractère superficiel, mais fréquemment renouvelés et finalement beaucoup plus dévastateurs, qui affectent les cirques. Nous y reviendrons dans la troisième partie de ce mémoire.

Pour conclure, les mouvements propres à l'unité intermédiaire résultent du morcellement des panneaux qui constituent le sous-sol



Photo n° 6



Photo n° 7

Photos 6 et 7 - Fissures apparues dans le village de Grand Ilet à la suite du cyclone Hyacinthe. Elles correspondent à la manifestation en surface des mouvements de panneau d'unité intermédiaire.

immédiat des îlets. Ces panneaux se matérialisent à la suite d'un mouvement gravitaire qui prend naissance au long d'une surface de discontinuité pouvant être faiblement inclinée ($\lt 10^\circ$) et non à la suite d'un affaissement tectonique. Leur découpage voit d'autre part intervenir des discontinuités préexistantes à pendage relativement élevé, d'origine structurale.

Une fois mobilisés, ces panneaux, dans le contexte géomorphologique actuel, sont la source de mouvements de moindre volume, mais qui constituent les risques naturels majeurs éprouvés par les sites qu'ils dominent.

2.3. Les formations détritiques

2.3.1. Généralités

Nous employons le terme de "formations détritiques" dans un sens assez restrictif. Il ne concerne que des formations volcaniques déjà remaniées, meubles ou éventuellement recimentées, si leur induration n'est pas due à un enfouissement profond associé à des transformations hydrothermales. A ce titre, nous ne prenons pas en compte les brèches appartenant aux océanites.

Toutes ces formations, malgré leur diversité, présentent quelques points communs. La plupart contiennent des matériaux de toutes origines, dont certains issus de la série différenciée ; elles ne sont jamais traversées par des intrusions ; on n'y trouve jamais d'indices d'une hydrothermalisation postérieure à leur dépôt, la matrice n'en est jamais zéolitisée et elles ne sont jamais recouvertes par des coulées de lave. Ces caractères montrent clairement que tous ces matériaux détritiques sont très récents (25 000 ans au plus), postérieurs aux dernières phases d'activité volcanique du Piton des Neiges, et donc contemporain du creusement des cirques.

La cimentation par une matrice n'est pas systématique ; elle peut éventuellement être absente. Le degré d'induration est très variable mais toujours suffisamment faible pour qu'une rupture se propage uniquement à travers la matrice, entraînant la désolidarisation des éléments constitutifs.

2.3.2. Les principaux types de formations détritiques

Dans un souci de clarification, nous distinguons arbitrairement les grandes catégories de matériaux en fonction du caractère plus ou moins hypothétique de la reconstitution de leur histoire.

2.3.2.1. Formations dont le processus générateur est manifeste

D'extention généralement limitée, elles regroupent des matériaux dont le contexte morphologique de mise en place est resté inchangé, ce qui rend aisée la compréhension de leur histoire.

- Les éboulis : Ils sont peu abondants à Grand Ilet, malgré la vigueur du relief, et ne forment jamais de vastes surfaces actives. Il ne faut pourtant pas négliger l'influence du climat, qui favorise une reprise et une croissance rapide de la végétation susceptible de les masquer. Ce n'est pas le cas au pied des remparts, où la faiblesse de l'alimentation suffit à expliquer leur quasi-absence. Les habitants du secteur confirment la rareté des chûtes de pierres. De même, ces éboulis sont peu abondants dans les gorges séparant les filets car les rivières ont une capacité de transport suffisante pour les éliminer. En revanche, ils apparaissent sous forme de cônes bien circonscrits (figure 2.17) sur les berges protégées du cours actifs. Ils ne sont pas produits par l'effritement de la falaise, mais par le débouché à son sommet d'un talweg qui permet le déversement de produits érodés sur les plateaux. Ce type de dépôt existe dans la ravine Roche à Jacquot et au début de la ravine du Bélier.

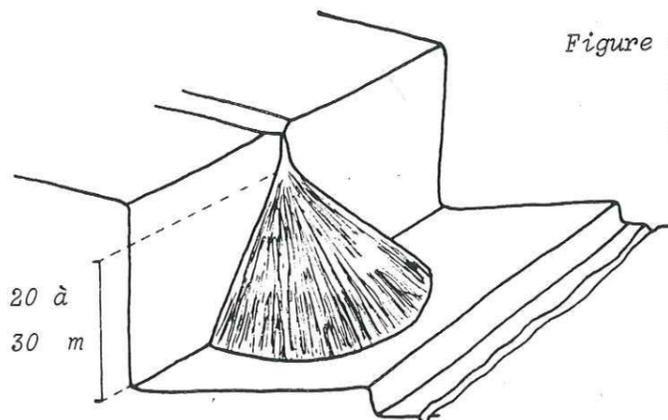


Figure 2.17.- Cônes d'éboulis au débouché de talwegs sur les berges protégées du cours actif.

Les quantités d'éboulis les plus importantes se rencontrent le long des ravines qui entaillent l'unité intermédiaire. C'est le cas des rives droites des ravines Piton Marmite et Roche à Jacquot amont (cf. chapitre 2.2.2. pp.76 à 85). La taille des blocs est assez uniforme, et correspond à la maille de fracturation des niveaux générateurs, qui appartiennent à des panneaux de série différenciée. Il s'agit plutôt du produit de petits éboulements successifs que d'un effritement continu.

- Les alluvions anciennes : Une terrasse caractéristique, perchée à plus de 70 m au-dessus du radier de Roches Plates, en rive gauche de la rivière Fleurs Jaunes, témoigne d'un enfoncement de cette dernière au cours duquel elle a rapidement atteint un sill. Dès lors, les terrains de sa rive droite étant beaucoup moins résistants, elle s'est décalée peu à peu vers l'Est en suivant la pente du sill. Ceci se vérifie au moins jusqu'au sondage géothermique, implanté sur la rive droite actuelle, qui a traversé 26 m d'alluvions. Au-delà, le Piton d'Enchain forme un obstacle infranchissable et un jour, la rivière traversera probablement le sill (figure 2.18).

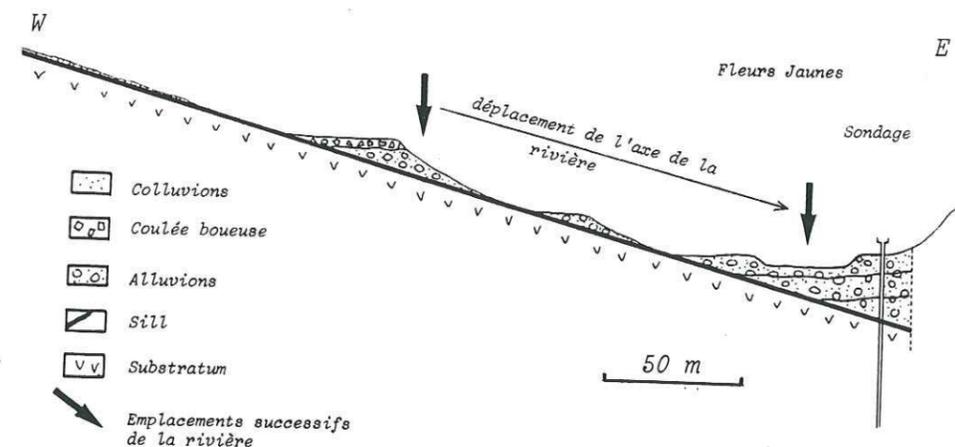
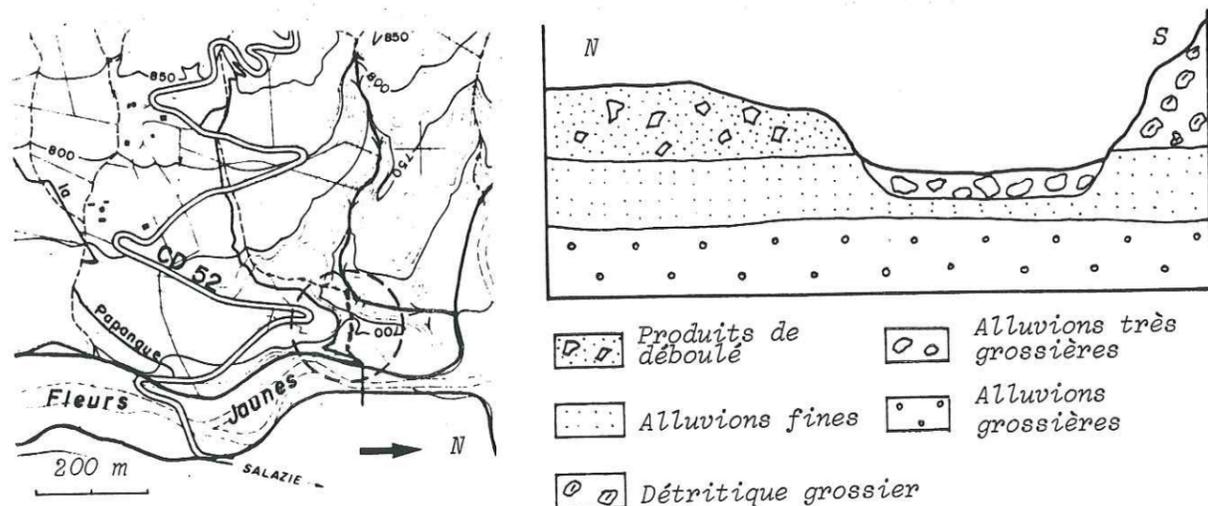


Figure 2.18.- Terrasses alluviales au droit du radier de Roches Plates.

tel-00679334, version 1 - 15 Mar 2012

La coupe de forage, malgré son imprécision, montre des variations de granulométrie qui sont dues à l'existence de plusieurs phases de dépôt. Ceci illustre un fait que nous serons amenés à évoquer à plusieurs reprises : la tendance globale à un enfoncement rapide du réseau hydrographique est interrompue de temps à autre par des phases de remblayage.

- Les alluvions actuelles : Elles s'accumulent dans les rivières principales lorsque leur lit s'élargit et que la pente diminue. Les dépôts se font dans le lit majeur lors des crues importantes, alors que le lit mineur s'enfonce en période normale. Ainsi, en janvier 1980, le radier de Roches Plates fut-il recouvert par 4 mètres de matériaux. Compte-tenu de la morphologie du secteur, le volume déposé peut être estimé à plus de 100 000 m³ étalé sur une centaine de mètres de largeur. Certains blocs sont de taille métrique, ce qui s'explique par la capacité propre du torrent, mais aussi par un accroissement de son pouvoir de transport dû aux matériaux en suspension. A la suite de ces crises, l'implantation du lit mineur peut se trouver modifiée. La plupart du temps, elle se cantonne au lit majeur mais parfois elle conduit à l'apparition d'un cours épigénique. C'est le cas de la ravine qui descend au Nord des lacets du CD 52 (figure 2.19). Elle a été capturée par la ravine Roche à Jacquot alors qu'à l'origine, elle descendait directement jusqu'à la rivière Fleurs Jaunes en franchissant une



- Trace actuelle
- Trace fossile
- Localisation coupe figure 2.20.

Figure 2.19. -Tracé du cours épigénique Figure 2.20- Coupe transversale du lit fossile

petite crête. Aujourd'hui, on distingue nettement son ancien lit, perché à une dizaine de mètres de hauteur (figure 2.20). Bien qu'il s'agisse d'un exemple très local, il est symptomatique des modifications morphologiques possibles et souvent dans des délais très courts.

- Les dépôts de coulées boueuses : Les matériaux de la coulée dévastatrice de 1980 peuvent servir de référence car nous sommes certains de leur origine. Il faut noter qu'elle est déjà totalement reconquise par la végétation (arbres de plusieurs mètres de haut en moins de 3 ans) et ne reste observable qu'en coupe le long de la ravine et de la route qui la traversent.

- Les blocs de grande taille (supérieurs à quelques décimètres) sont peu abondants. Ce sont soit des fragments d'intrusions soit des éléments de la série différenciée, caractérisés par une teinte générale plus claire. Ils sont peu anguleux. La granulométrie de la coulée est étalée : aucune classe ne domine. Tous les éléments sont emballés dans une matrice terreuse qui donne une bonne cohésion à l'ensemble. Les plus fins adhèrent aux plus gros en ciment granuleux. L'immersion dans l'eau ne suffit pas à rompre ces liaisons. Les talus entaillés dans ces formations sont très redressés et stables en l'absence d'affouillement de pied, et ne montrent pas trace de ravinement important.

L'analyse aux rayons X montre que la coulée ne contient pas de montmorillonite contrairement aux terrains où elle a pris naissance et qui l'on alimentée. Le minéral argileux a disparu au cours de la phase de transport. Nous reviendrons sur ce point à propos des mouvements de terrain.

L'origine génétique des matériaux dont nous venons de parler était facile à déterminer, compte tenu d'un contexte morphologique favorable. C'est loin d'être le cas pour la majorité des formations détritiques et il est souvent difficile d'établir une discrimination

catégorique des processus dynamiques de mise en place à partir de l'allure des affleurements. Le plus souvent, les produits sont coupés de leur zone d'alimentation par l'action de l'érosion et l'on doit essayer d'imaginer la topographie antérieure pour reconstituer le trajet suivi. De plus, les volumes apparents sont souvent considérables, comparés à ceux qui ont été mobilisés en 1980.

Dans ce domaine, on ne doit pas oublier le caractère catastrophique d'événements tels que Grand Sable en 1875 et Mahavel en 1965. Dans ce dernier cas, le recouvrement dans l'axe de la rivière des Remparts, a atteint près de 100 m d'épaisseur, valeur établie par comparaison de nivellement. Une telle référence permet de ne pas s'étonner des accumulations puissantes de produits détritiques visibles à Mare à Martin ou que l'on peut soupçonner à Camp de Pierrot.

Nous ne détaillerons pas ces exemples, situés hors du cadre géographique de notre étude. Toutefois, il est intéressant de noter les étapes de l'évolution, depuis le terrain en place jusqu'au détritique stabilisé. Le phénomène débute par l'écroulement d'une tranche de rempart en présence de grandes quantités d'eau. Sous le choc, l'énorme "millefeuille" lave-scorie se pulvérise et les deux types de matériaux se mélangent intimement en libérant une partie de l'eau infiltrée. L'ensemble va former une pseudo-émulsion qui s'étale en nappe avec une grande célérité, léchant les parois qui la canalisent à plus de 100 m de hauteur, en entraînant des blocs de plusieurs dizaines de tonnes. Le mouvement s'arrête lorsque l'énergie interne de la masse devient insuffisante pour maintenir l'homogénéité du mélange. Dès lors, il y a essorage et stabilisation. Le terme couramment utilisé de coulée boueuse ne convient pas parfaitement dans son acception courante du fait de la rapidité du déplacement. Nous expliquerons dans la troisième partie du mémoire pourquoi, le terme "déboulé" qui a été retenu, semble mieux adapté.

Nous allons décrire un certain nombre de secteurs en montrant

la limite de nos connaissances, l'importance relative de la part d'hypothèse et les informations que nous obtenons par l'étude de chacun d'eux.

2.3.2.2. Sites de dépôt - processus générateur interprétés

■ Amont du panneau déplacé au Sud du Béliet

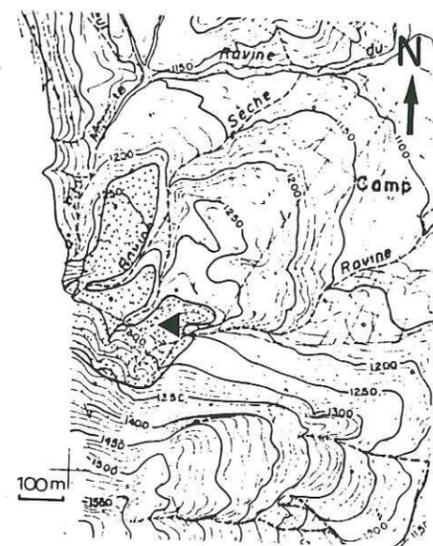


Figure 2.21.-Localisation de la coupe de la figure 2.22.

- matériaux détritiques
- ▲ localisation de la coupe

Le sommet de la ravine Azaye permet d'observer une coupe caractéristique. Les produits détritiques occupent la cicatrice laissée entre l'unité intermédiaire et le substratum qu'ils occultent tous deux. Elle est haute d'une dizaine de mètres.

Une vue d'ensemble, montre une légère organisation du dépôt, marquée par la succession d'au moins six niveaux différents (Photo 8 figure 2.22).



Photo 8

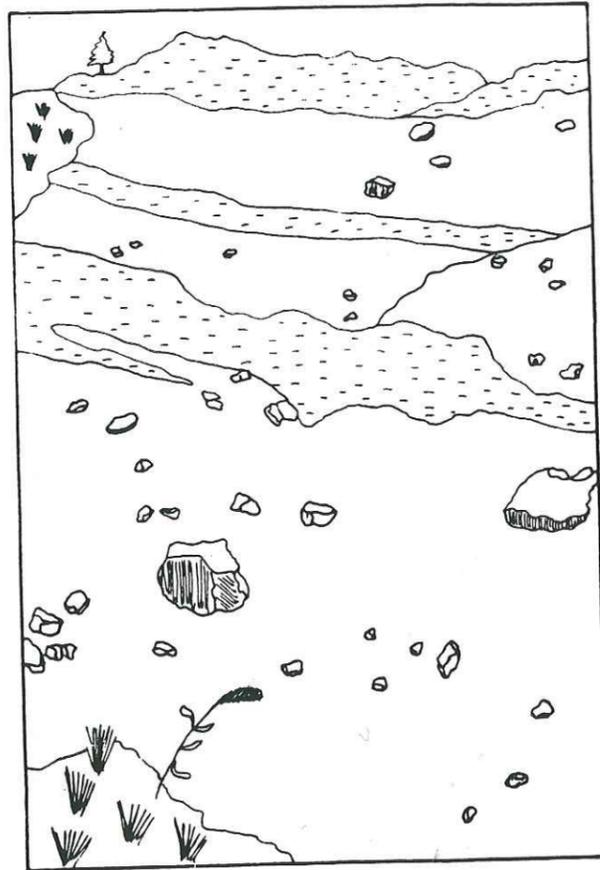


Figure 2.22. - Interprétation de la photo 8 montrant l'intercalation de niveaux fins et grossiers dans un remblayage détritique.

Le niveau inférieur est le plus grossier. Les éléments décimétriques y sont abondants et accompagnés de quelques blocs demi-métriques, le tout emballé dans une matrice terreuse mais apparemment non argileuse. Ils sont anguleux avec des arêtes légèrement émoussées témoignant d'un mode de transport qui n'a pas permis la ségrégation des classes granulométriques. Au-dessus, on trouve encore deux niveaux grossiers intercalés entre des couches de matériaux plus fins et mieux triés qui sont moins épaisses. Les contacts entre niveaux sont irréguliers avec ravinement possible à la base de certains. On peut interpréter les dépôts de la manière suivante :

Un écoulement se produit en amont du secteur et évolue en lave torrentielle qui vient combler une dépression en amont du paquet

tassé. Ensuite, le ruissellement entraîne des matériaux plus fins qui nivellent la surface du dépôt précédent puis une autre lave torrentielle vient éroder la nouvelle surface, et ainsi de suite jusqu'à ce que la zone d'alimentation soit purgée, stabilisée ou isolée du secteur de dépôt concerné. On verra, dans d'autres cas, les matériaux détritiques profondément érodés à la suite de l'implantation d'une ravine, pouvant ultérieurement être comblée, à son tour, par de nouveaux apports.

■ Les dépôts de la "Mare à Martin"

A la Réunion, le terme de mare désigne des dépressions fermées remplies d'eau qui n'ont pas d'autres alimentations que le ruissellement diffus, ni d'exutoire permanent. Leur niveau est donc assez fluctuant. Ces mares débordent parfois lors d'épisodes cycloniques. Elles sont le siège de dépôts spécifiques.

L'étendue de la Mare à Martin a diminué au cours des temps. En effet, nous avons pu observer des coupes de dépôts caractéristiques, au Nord de la route, sur le versant d'un petit bras de la ravine Be Cabot (figure 2.23).

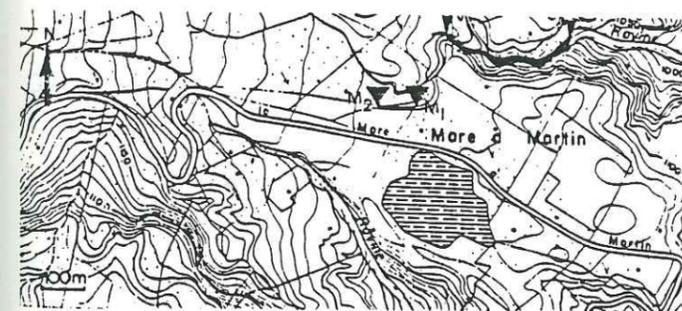


Figure 2.23. - Extrait de la carte topographique. Secteur de la Mare à Martin.

- ▼ repérage des coupes.
- ▨ Mare à Martin.
- └┘ Portion de ravine décrite au paragraphe suivant.

• Coupe la plus proche de la masse actuelle (figures 2.23 M1 et 2.24a) elle montre :

- 30 à 40 cm de brèche à blocs pluridécimétriques, cimentée et indurée .

- 2 à 3 m de dépôt très fin caractérisé par :

. l'alternance de lamines demi-millimétriques claires et sombres dont la discontinuité latérale est interrompue par des phénomènes de chenalisation entrecroisée ;

. Des petits cailloux centimétriques qui provoquent des déformations locales des lamines par ailleurs affectées de mini-tassements en graben (figure 2.24 b).

• Coupe située à l'extrémité de la ravine, 100 m à l'Ouest de la précédente. On observe au moins cinq types de matériaux différents avec de haut en bas (figures 2.23 M2 et 2.24 c).

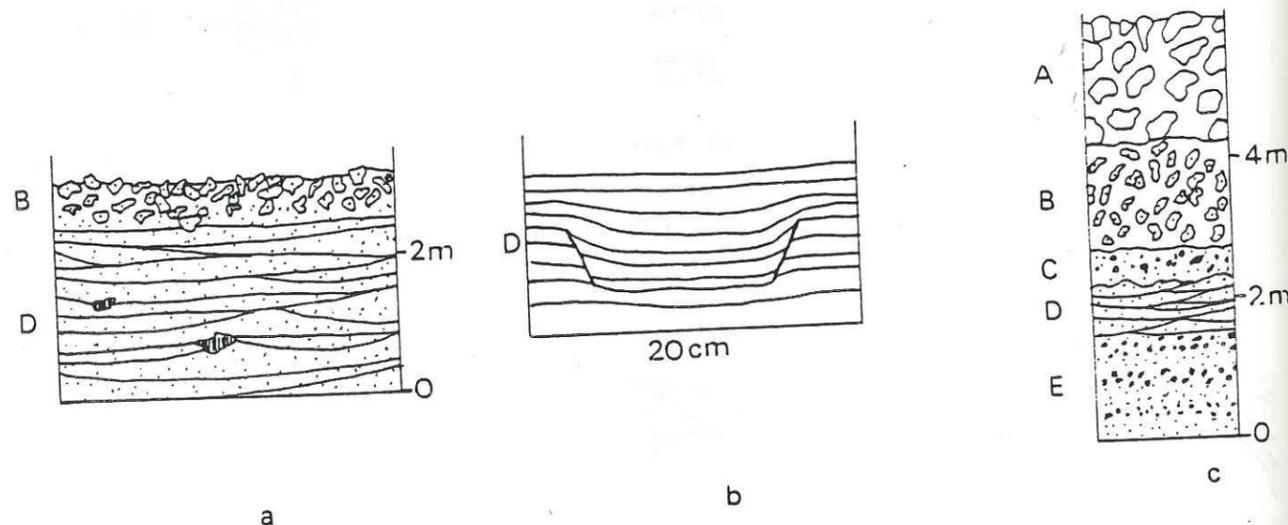


Figure 2.24.-a b c Coupe des remplissages de Mare à Martin

- a. Coupe M1 dans les dépôts de Mare à Martin
- b. Détail du niveau D dans la coupe M1
- c. Coupe M2 dans les dépôts de Mare à Martin.

A : 1 à 2 m de produits détritiques de recouvrement atypiques à gros blocs ;

B : = 1,5 m de brèche indurée par un ciment peut-être argileux, qui expliquerait son imperméabilité relative. En effet, elle est à l'origine de petites venues d'eau. C'est l'équivalent de la brèche

de la coupe précédente.

C : = 0,5 m de cailloutis de quelques centimètres pouvant atteindre au maximum le décimètre.

D : = 0,70 m de dépôt très fin en lamines se distinguant par une différence de teinte. Quelques niveaux apparemment plus argileux, épais d'un centimètre, font saillie. On peut attribuer cela à une cohésion plus forte que celle des niveaux silteux. C'est l'équivalent des matériaux fins du cas précédent.

E : = 1,50 m d'une alternance de graviers décimétriques à millimétriques avec une nette tendance à la diminution de la taille moyenne des éléments vers le bas.

Cette disposition reste visible sur quelques mètres puis disparaît sous la végétation. Il est donc impossible d'observer le passage latéral entre les deux secteurs.

La présence de produits plus grossiers indique que l'amont de la ravine se trouvait proche de la zone d'alimentation alors que la première coupe correspondait au centre de la mare à une époque où son extension était plus importante, à moins qu'elle ne se soit déplacée sous la poussée des apports détritiques. La brèche qui coiffe les deux affleurements est le résultat d'un épandage de plus grande ampleur. L'absence d'information sur les terrains actuellement sous-aquatiques ne permet pas de savoir si l'épandage a affecté indifféremment les zones exondées et submergées.

Pour les deux exemples que nous venons de présenter, le contexte morphologique des dépôts n'a guère évolué. L'inconnue concerne seulement le site régional des apports. Ce n'est pas le cas des exemples que nous allons décrire maintenant, pour lesquels les conditions topographiques qui régnaient au moment de la mise en place des produits détritiques

ont été totalement bouleversées. En effet, ils affleurent en talus à forte pente ou même en falaises qui ne peuvent que résulter du travail de l'érosion car la pente naturelle des épandages détritiques n'excède pas une dizaine de degrés (cf. Grand Sable).

2.3.2.3. Zones d'alimentations et de dépôts transformés

■ L'ensemble détritique de Mare à Martin à Bé Cabot

L'unité de ce vaste ensemble est certaine bien que suivant les points d'observation la structure et la nature du dépôt puissent être très diverses. Cependant, compte tenu de son mode de mise en place, il serait illusoire de vouloir y fonder une quelconque stratigraphie sur des différences de faciès qui témoignent plutôt de la variation des conditions particulières et localisées de dépôt que d'une évolution cohérente. Pour cette raison, nous n'avons pas représenté différemment sur la carte géologique (annexe 3) les divers aspects des affleurements que nous décrivons ici.

• La ravine drainant la Mare à Martin (figure 2.23)

On peut la suivre sur environ 300 m, jusqu'à un trou d'eau infranchissable. Elle est encaissée entre deux talus verticaux hauts de 10 à 20 m. Le lit est occupé par des blocs anguleux dont la taille varie d'un point à l'autre. Décimétriques à métriques, ces blocs n'ont pas été transportés : c'est la fraction la plus grossière des terrains encaissants laissée sur place à mesure que la ravine se creusait. Les secteurs où l'encaissant est le plus grossier sont garnis par les blocs les plus volumineux, et inversement. Les arêtes sont émoussées, mais les blocs ne sont pas roulés. Leur usure est due aux chocs avec les matériaux plus fins transportés lors des crues.

Nulle part, n'affleure le substratum, les rives sont entièrement formées de brèches détritiques. Plus la taille moyenne des éléments

est faible, et plus elles sont cimentées et cohérentes. La matrice est fine mais ne semble pas argileuse.

Les caractéristiques du dépôt peuvent évoluer latéralement et verticalement mais on observe aussi des modifications brutales qui indiquent une mise en place par pulsions successives séparées par des hiatus temporels. Ainsi à l'aval en rive gauche, on trouve trois types de brèches superposés et d'origine différente.

- Le niveau inférieur est formé d'une brèche à éléments centimétriques à décimétriques soudés par une matrice gris sombre. Il résiste bien à l'érosion par le courant qui ne déchausse pas les cailloux, il existe aussi sur quelques mètres à l'amont et à l'aval où il est entaillé par la ravine qui affouille les terrains sous-jacents. Apparemment, il est formé de lentilles peu étendues mais relativement imperméables comme le montrent bien des suintements sur les berges.

- Le niveau intermédiaire, beaucoup plus grossier, est constitué en majorité de blocs de taille supérieure à 20 centimètres. Basaltiques, ils sont anguleux, très durs, massifs et ne montrent pas de trace d'usure.

Les vides, entre eux, sont occupés par des cailloux centimétriques à décimétriques et par une très faible quantité de matrice terreuse brun rouge qui laisse subsister bon nombre de vides. Ceux-ci rendent le matériau très perméable et les parties fines sont facilement entraînées par les eaux de percolation. La matrice, très sensible à la dessiccation, ne confère qu'une faible cohésion à l'ensemble alors que l'angle de frottement semble élevé. Ceci, associé à la forte perméabilité qui évite tous risques de mise en charge interne, suffit à conférer au terrain, une bonne stabilité et lui permet de former des falaises. Mais à l'opposé, il ne supporte pas les affouillements de pied et la mise en surplomb, car peu cohérent, il croule.

Un tel niveau peut être attribué à l'écroulement d'un ensemble

massif préalablement fissuré. Il rappelle beaucoup les éboulis actuels à l'amont de la ravine Roche à Jacquot.

- Le niveau supérieur est formé d'éléments de plus petite taille emballés dans une matrice sablo-terreuse de teinte ocre rouille apparemment pauvre en argile. Il ne montre pas de vides et une cohésion suffisante lui permet de s'affaisser en paquets métriques lorsque le niveau sous-jacent s'écroule.

• Le Plat de Bé Cabot et son pourtour

Il montre une brèche, faite en majorité d'éléments millimétriques à centimétriques emballés dans une matrice silteuse indurée, toutefois on y rencontre des blocs décimétriques épars. Les blocs métriques, nombreux sur le plateau, ne correspondent pas à un niveau particulier mais représentent le résidu non transportable des terrains sus-jacents déblayés par l'érosion.

L'état de cimentation varie d'un point à un autre. Des poches sont entièrement remplies de blocs décimétriques à pluridécimétriques sans cimentation ni matrice. Les conditions d'affleurement ne permettent pas de préciser leur extension exacte. Ces niveaux à blocs sont l'équivalent de celui décrit dans la ravine drainant la Mare à Martin.

Les brèches sont présentes sur toute la hauteur du versant de rive gauche de la ravine (figure 2.25). De ce côté, le lit est occupé par une accumulation de blocs arrondis métriques. En rive droite, on a affaire à un éboulis de blocs anguleux issus de la falaise de basalte compact mais très fissuré qui la domine et doit constituer le bord d'un panneau glissé.

Le substratum se trouve probablement à faible profondeur sous l'axe de la ravine car celle-ci est parcourue par un écoulement pérenne: le matelas d'éboulis ne doit donc pas y être épais. D'ailleurs, à 300 m à l'Ouest, dans la coupe de la ravine Bé Cabot, on l'observe sensiblement à la même altitude.

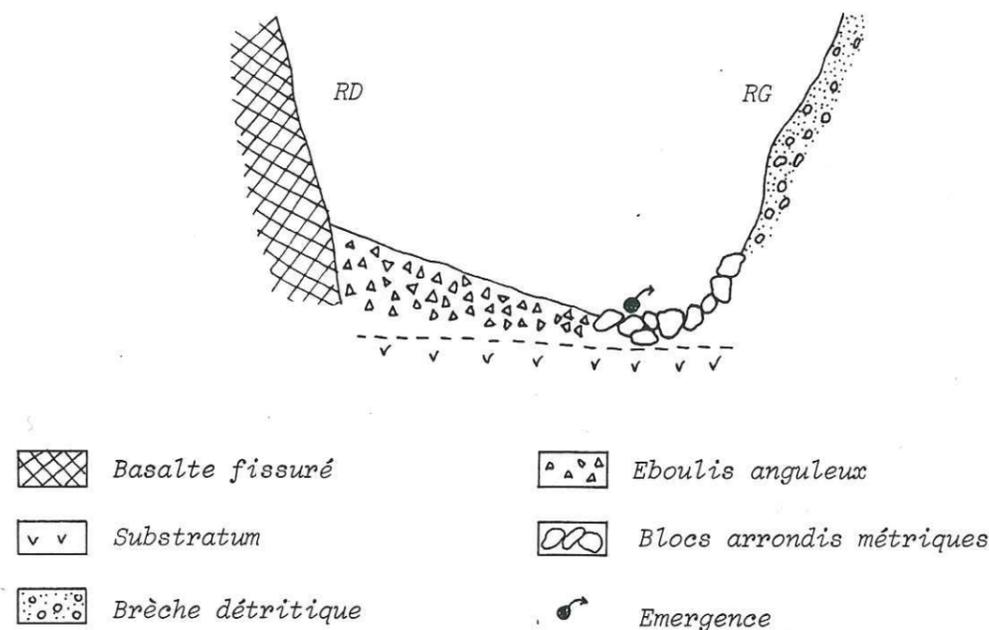


Figure 2.25-Coupe schématique de la ravine située à l'Ouest du Plat de Bé Cabot.

Légèrement à l'aval du secteur, en rive gauche, les brèches présentent un aspect assez nettement lité. L'affleurement, se trouvant dans la falaise, nous n'avons pu l'observer de près mais il semble qu'il s'agit plutôt en fait d'un placage résiduel consécutif à un comblement temporaire de la ravine (figure 2.26) que d'une disposition propre au massif lui-même.

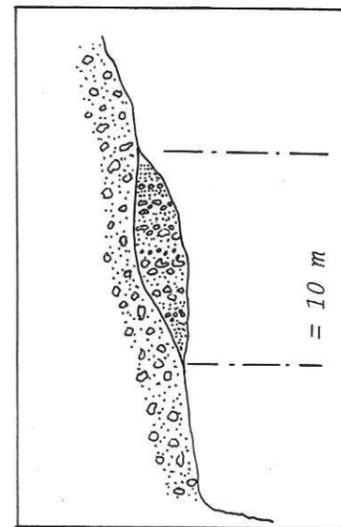


Figure 2.26.-Coupe de la falaise dominant le confluent entre la ravine Bé Cabot et un affluent de rive gauche.

-  Massif de formations détritiques indifférenciées.
-  Placage résiduel lité.

tel-00679334, version 1 - 15 Mar 2012

• La falaise séparant Mare à Martin de Bé Cabot (figure 2.27)

Haute d'une centaine de mètres, elle est entièrement constituée de brèches. La taille des éléments est variable, du centimètre à plusieurs mètres. Ils sont bien cimentés. La paroi est stable malgré sa verticalité. D'après nos observations et les témoignages des habitants, elle ne produit qu'exceptionnellement des éboulis. Toutefois à sa base, allongée en rive droite de Bé Cabot, on trouve une langue de dépôts grossiers résultant probablement d'un écoulement provoqué par un affouillement dans le coude de la ravine. Une fois de plus, le lit est encombré par des blocs de basalte massif que le courant n'a pu déblayer.

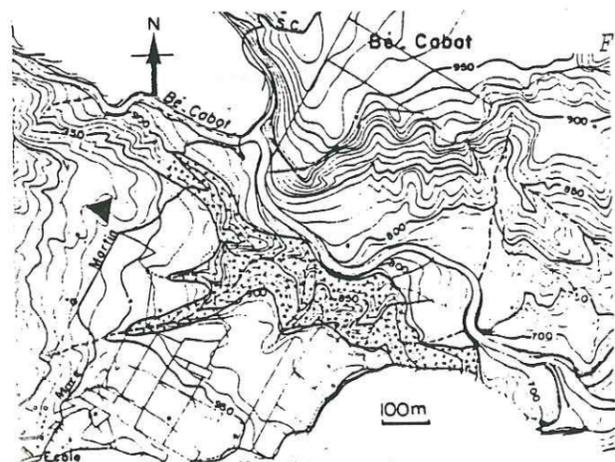


Figure 2.27.-Extrait de la carte topographique.

■ Falaise de détritique séparant Mare à Martin de Bé Cabot.

▲ Affleurement de Mare à Martin Village.

• Mare à Martin Village (figure 2.27)

Un affleurement restreint, large d'une dizaine de mètres, permet d'observer un exemple de stratification fruste propre à ces matériaux détritiques (figure 2.28). L'organisation du dépôt est soulignée par des différences dans la granulométrie, dans la nature de la matrice et dans le degré d'induration de chaque niveau. D'autre part, l'intercalation d'un niveau à grains fins y correspond à une interruption plus ou moins complète de l'alimentation détritique. La matrice des deux niveaux supérieurs, de teinte claire, est indurée (peut-être sous l'effet des eaux de percolation) alors que la matrice terreuse du niveau inférieur garde une consistance plus molle. Plus argileuse, elle est moins perméable et conserve mieux l'humidité. Elle est probablement responsable des glissements décimétriques qui affectent le talus de la nouvelle route de Bé Cabot.

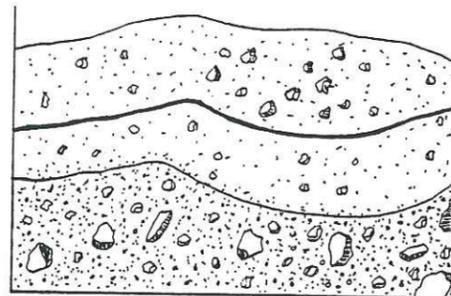


Figure 2.28. - Affleurement de Mare à Martin. Stratification, avec ravinement, des matériaux détritiques.

5 m

Nous allons montrer maintenant que le vaste ensemble détritique de Mare à Martin-Bé Cabot a pu déborder les limites géographiques des filets dont il porte le nom et atteindre, autour de l'îlet de Mathurin, une zone assez large limitée par les gorges des rivières Roche à Jacquot et Fleurs Jaunes.

Ce secteur situé sous Mare à Martin présente une topographie chaotique faite de nombreux clochetons et petites ravines. Sa végétation abondante et son accès peu aisé y rendent les observations très discontinues. C'est le seul endroit où nous ayons un doute sur la nature exacte des matériaux, soit strictement volcaniques, soit détritiques dans le sens que nous avons précisé, c'est-à-dire résultant d'un remaniement complet et récent. Nous avons pu observer deux coupes distantes d'une cinquantaine de mètres (figure 2.29).



Figure 2.29. Localisation approximative des coupes des figures 2.30 et 2.31 qui se trouve en dehors de la carte topographique détaillée dont nous disposions.

• La première coupe (figure 2.30)

On observe :

- un chapeau de terrain assez massif à l'allure de projections fines soudées, sans arêtes saillantes ;

- à la base, trois niveaux de brèches très grossières à éléments centimétriques, cimentés par une matrice cendro-silteuse.

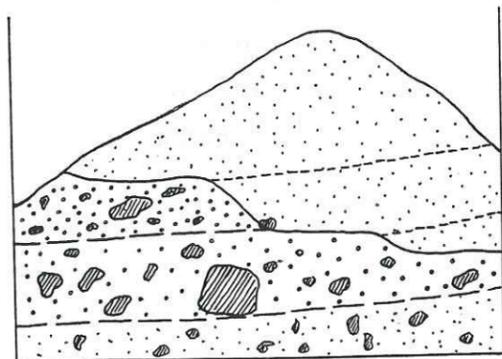


Figure 2.30. - Coupe naturelle d'un talus à 300 m au Sud de l'école de Mare à Martin.

-  Brèche détritique
-  Encroûtement de surface donnant un aspect massif au terrain.
-  Limite entre niveaux de brèche

10 m

En fait, les limites de niveaux de brèche se poursuivent latéralement dans le terrain pseudo-massif marquées par un léger sillon. En réalité, le terrain est entièrement constitué de brèches, mais plus ou moins encroûtée, alors que la partie inférieure de la coupe a été rafraîchie par un petit écoulement. La teinte et l'aspect général de l'affleurement ne sont pas sans rappeler les tufs explosifs de la région de St Gilles.

• La deuxième coupe (figure 2.31)

On observe :

- une brèche à éléments assez fins formant la majorité du

massif et rappelant les matériaux supérieurs de l'exemple précédent ;

- une brèche typiquement détritique qui coiffe des tassements en escalier affectant le niveau inférieur .

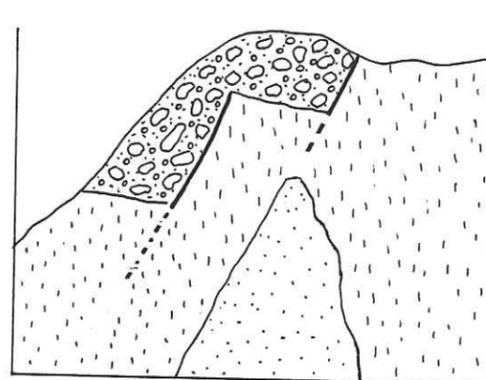


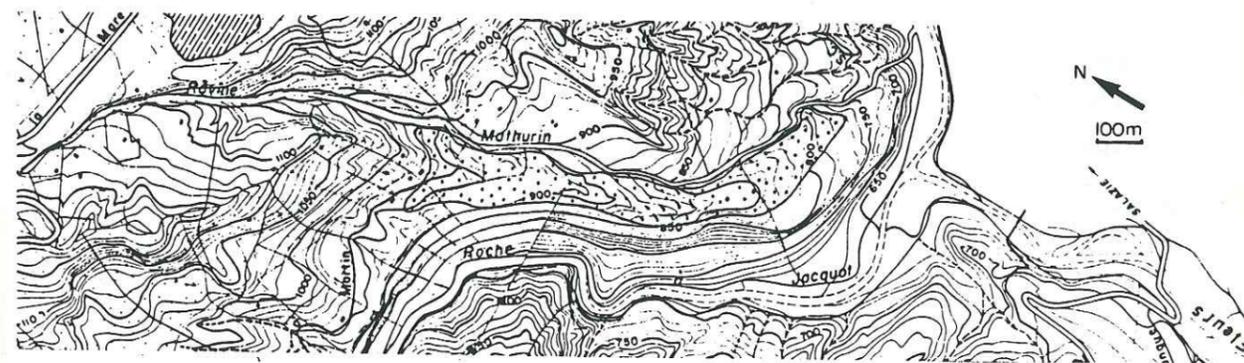
Figure 2.31.- Coupe naturelle d'un talus à 300 m au Sud de l'école de Mare à Martin.

-  Produits détritiques fins ou brèche encroûtée.
-  Détritique récent cachetant un tassement.

10 m

Il apparaît donc d'une manière certaine que des produits détritiques ont débordés du secteur de Mare à Martin et envoyé une topographie antérieure. Par contre, un doute subsiste sur la nature des matériaux dans lesquels celle-ci avait été modelée. Il s'agit soit de terrains détritiques plus anciens, soit de terrains issus d'un épisode volcanique explosif très récent, contemporain du creusement des cirques.

• La crête séparant la ravine Mathurin de la ravine Roche à Jacquot (figure 2.32)



-  crête de détritique

Figure 2.32. - Localisation de la crête bordant la ravine de Mathurin

Elle est formée d'une brèche à éléments d'océanite de taille moyenne (quelques centimètres) assez homogène. On ne trouve pas de gros blocs. Cette crête peut être interprétée comme le reste d'un épandage détritique étalé au débouché de la ravine et réentaillé par la suite. L'écoulement actuel ne rejoint pas directement la Roche à Jacquot, du fait du léger pendage vers l'Est du substratum (coupe 3).

L'ensemble détritique dont nous venons de décrire quelques localités types occupe tout le secteur de Mare à Martin-Bé Cabot. Il est donc assez vaste et atteint une épaisseur de plus de 100 m (cf. coupes 7, 11 et 12) alors que l'unité intermédiaire n'existe pas ou n'est pas visible. On constate donc une différence marquée avec Grand Ilet s.s. .

Nous l'expliquerons de la manière suivante. Le glissement caractéristique de l'unité intermédiaire aurait débuté ici plus tôt qu'à Grand Ilet s.s. pour deux raisons :

- la surface potentielle de décollement s'y trouvait à une altitude plus grande ;
- dans cette zone plus proche de la sortie du cirque, l'enfoncement de la rivière Fleurs Jaunes par érosion a été plus précoce.

D'autre part, s'agissant d'une zone plus étroite, les matériaux susceptibles de se déplacer ont pu être purgés plus rapidement d'où une stabilisation plus ancienne. Par la suite, les détritiques ont pu s'accumuler tranquillement si un obstacle situé en aval limitait l'évacuation vers l'océan. Au sujet de cet obstacle, deux hypothèses sont concevables : la vallée aurait pu être barrée par un grand éboulement - mais nous n'en avons pas trouvé trace - ou bien par des coulées tardives dont on connaît des témoins dans les gorges d'entrée du cirque de Salazie.

■ Ilet de la Roche à Jacquot

C'est un cas singulier par la taille de certains blocs présents dans le matériau détritique qui le constitue. Ils atteignent plusieurs dizaines de mètres cubes, surtout à la base de son flanc sud. Ces blocs représenteraient le produit d'un écroulement qui a affecté les terrains reposant à l'origine sur une intrusion, qui affleure aujourd'hui en dalle structurale de part et d'autre de la route bétonnée de Mare à Martin.

La pointe de l'îlet est le siège de tassements de quelques mètres en marches d'escalier dont le flanc de la ravine Blanche fournit un bonne coupe. Ils affectent les matériaux détritiques grossiers et sont plus ou moins oblitérés par des produits détritiques plus fins, témoignant une fois de plus de phases de mise en place successives, séparées par des accalmies.

■ Le flanc est de Grand Ilet s.s.

• Les crêtes situées au Sud du CD 52 présentent toutes le même type de morphologie : aigues à l'amont, elles s'élargissent vers l'aval (figure 2.33 a).

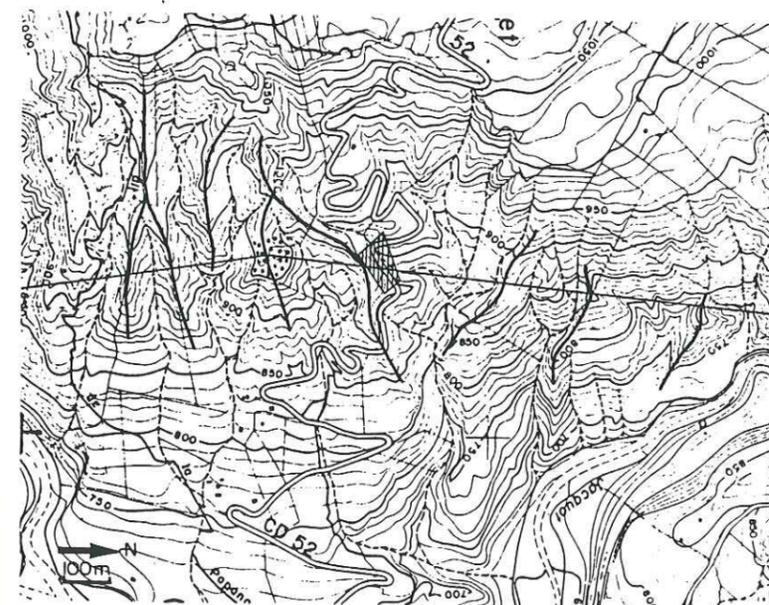


Figure 2.33.a - Versant est de Grand Ilet.

-  Emplacement de la coupe du bord de route
-  Plateau carré
-  Crêtes principales montrant un évasement vers la base
-  Tracé de la coupe de la Figure 2.33 b

tel-00679334, version 1 - 15 Mar 2012

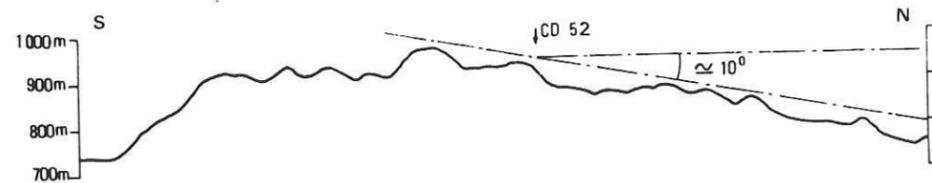


Figure 2.33b- Profil topographique NS dans le versant de Grand Ilet.

Cet aspect traduit une variation de puissance du dépôt.

- Dans la partie basse, les brèches qui reposent sur le substratum constituent la totalité de la crête, et sont à l'origine de son profil trapu ;
- Dans la partie haute, les brèches, beaucoup moins épaisses reposent sur des paquets plus ou moins isolés d'unité intermédiaire, qui légèrement plus cohérents, sont responsables du profil plus escarpé.

Les brèches sont formées d'éléments anguleux centimétriques à décimétriques de basalte plus ou moins altéré. Des blocs métriques apparaissent à l'amont.

• Le talus de la route à l'endroit où elle franchit la seule ravine importante de la montée fournit une coupe significative (figure 2.34 Localisation figure 2.33a). Le lit de la ravine est creusé dans le substratum d'océanite coupé d'intrusions. Au-dessus vient un niveau épais d'environ 1 mètre fait de blocs émoussés de 30 à 40 cm emballés dans une matrice fine de teinte claire. Il correspond probablement à un dépôt de lave torrentielle. Tout le reste du talus, haut d'une vingtaine de mètres, est formé d'une brèche à matrice silteuse sombre emballant des cailloux centimétriques à décimétriques ainsi que quelques blocs épars. Il se termine par un petit plateau faiblement penté vers

l'aval. Ce matériau est comparable à celui décrit au paragraphe précédent.

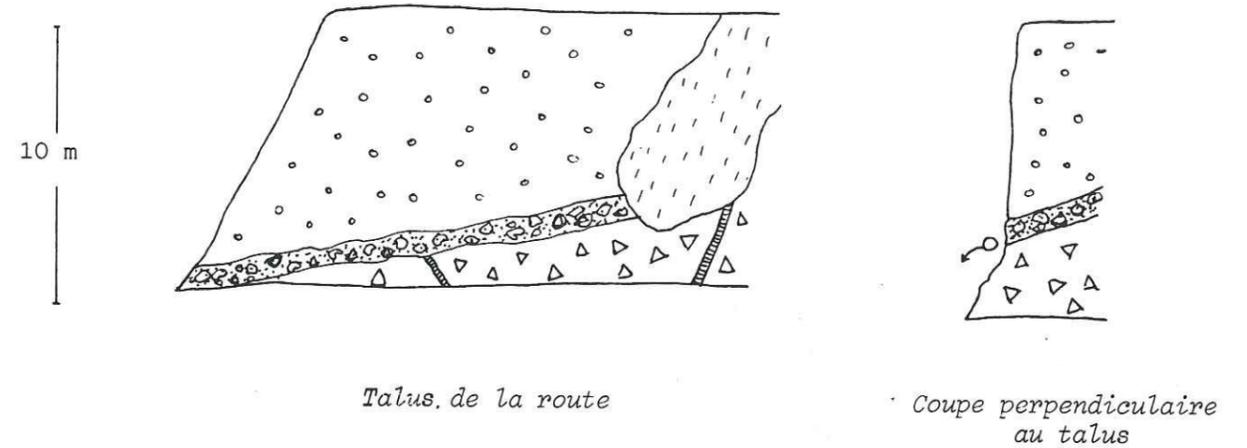


Figure 2.34. - Coupe naturelle fournie par le talus du CD 52

- Eboulis
- Lave torrentielle
- Venue d'eau
- Brèche détritique
- Substratum + intrusions

L'ensemble des crêtes du versant est de Grand Ilet (s.s.) représente probablement les restes d'un vaste remblaiement détritique du cours de la rivière Fleurs Jaunes à une époque où elle coulait à un niveau plus élevé.

Les traces du remblayage devraient normalement se retrouver au Nord du CD 52. L'étude des photographies aériennes ne contredit pas cette hypothèse du point de vue morphologique, malheureusement, nous n'avons pu la vérifier du point de vue pétrographique. Si la nature détritique des crêtes situées au Nord du CD 52 était confirmée, il serait possible de reconstituer une "surface enveloppe" de l'épandage dont le petit plateau carré, très net dans la topographie (figure 2.33) serait un témoin. On constate en effet que les crêtes s'alignent selon une pente d'une dizaine de degrés (figure 2.33 b) qui permet d'envisager une origine commune à partir d'un épandage progressant du Sud vers le Nord.

2.3.2.4. Les détritiques de surface

Ils existent à la surface de tous les îlets et forment une couche continue qui masque les terrains et les structures plus profonds. Ils proviennent soit d'épandages superficiels issus de l'amont soit du démantèlement des niveaux sous-jacents. Dans certains secteurs où la pente ne permet pas l'apparition de ravinement, le ruissellement a tout de même été suffisant pour lessiver la totalité de la fraction fine. Aussi, en certains points, comme à Casabois, de part et d'autre de la ravine Sèche (une de plus) se forment des tapis de blocs métriques, alors que les produits fins s'accumulent dans les zones déprimées proches.

2.3.3. Conclusion à propos des formations détritiques

Les volumineuses accumulations détritiques du secteur de Grand Ilet sont récentes et liées au creusement des cirques. Elles sont postérieures à l'arrêt des manifestations volcaniques : en effet, on ne trouve jamais, dans leur masse, de produits éruptifs intacts (lits de scories, coulées, dykes ou sills), mais seulement ces matériaux à l'état remanié.

Leur interprétation est délicate du fait de remises en cause brutales et répétées de la topographie qui donnent à leurs gisements un caractère chaotique et erratique. Leur premier dépôt se fait souvent sur une surface coupée de profondes ravines. Ensuite viennent de violentes reprises par l'érosion (les dépôts de Grand Sable ont été entaillés sur près de 50 m depuis 1875) et des épisodes cycloniques relativement répétés du type Hyacinthe.

La structure de ces dépôts témoigne d'une mise en place soit par couches successives avec ravinement basal, soit par grandes masses éboulées dépourvues de toute organisation interne (résultant d'écroulement).

En dépit de leur aspect ruiniforme et démantelé, ces formations ont une stabilité propre étonnante : nombreuses y sont les falaises peu actives, et elles n'alimentent que très exceptionnellement les dépôts détritiques de deuxième génération. C'est seulement lorsqu'elles surmontent ce que nous avons défini comme "unité intermédiaire", et que cette dernière se trouve animée de mouvements propres, que leur stabilité se trouve gravement compromise.

3. CONCLUSIONS

Les terrains, étudiés à Grand Ilet, ont tous une origine première strictement volcanique. Dès leur mise en place, ils présentent une grande variété de faciès pétrographiques et minéralogiques qui vont en partie conditionner leur évolution ultérieure.

Par ailleurs, au cours de l'édification du massif du Piton des Neiges, chaque épisode volcanique est accompagné d'une phase d'hydrothermalisation des terrains existant auparavant. Ce métamorphisme entraîne des transformations chimiques et minéralogiques qui provoquent l'apparition des zéolites essentiellement mais aussi de la montmorillonite.

La présence et l'origine de cette argile gonflante est primordiale car elle expliquerait bien la faiblesse et l'extension de certains niveaux responsables de l'apparition de mouvements de grande ampleur et par là-même de la constitution de l'unité intermédiaire.

Ainsi, au cours du creusement des cirques, les terrains volcaniques vont subir une évolution essentiellement mécanique qui modifie profondément leur texture et se caractérise par des phases paroxysmales entraînant des transformations pratiquement instantanées à l'échelle des temps géologiques. Ce sont elles qui marquent la limite entre les 3 grandes unités lithologiques que nous avons définies :

- substratum,

- unité intermédiaire,
- formations détritiques.

On peut représenter cela par un schéma de transformation d'un matériau volcanique originel en fonction du temps (figure 2.35).

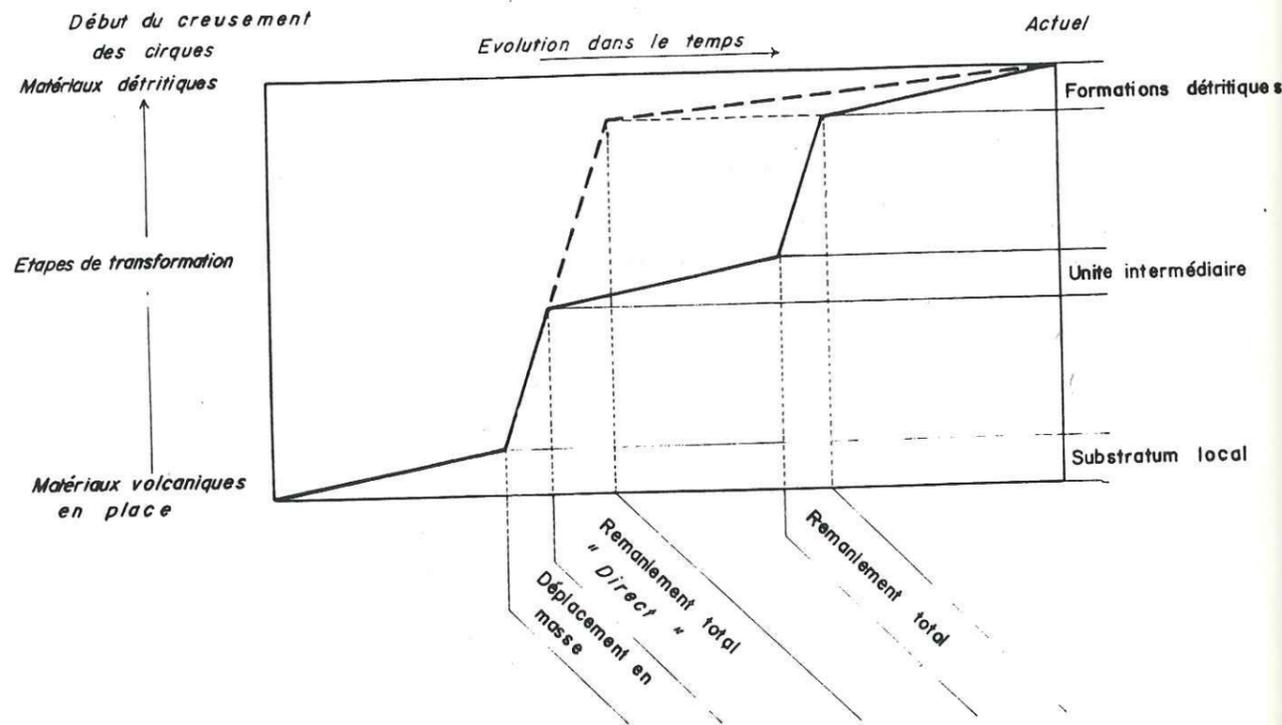


Figure 2.35.- Transformations successives d'un matériau volcanique originel au cours du temps.

- Passage par les trois stades d'évolution
- Passage direct substratum → détritique

- La première limite est marquée par l'apparition de mouvements en masse, lents, à l'intérieur du substratum, qui donnent naissance à l'unité intermédiaire.

- La seconde limite est marquée par l'accélération brutale des mouvements qui provoquent un remaniement interne total du matériau et donnent naissance aux formations détritiques.

On doit remarquer que certains terrains (la série différenciée en particulier), du fait de leurs caractéristiques mécaniques, ne supportent pas les déformations lentes et progressives; ils passent donc directement du stade de substratum à celui de formation détritique.

Il apparaît donc que les limites établies ne sont pas absolues et en effet quelques affleurements posent des problèmes de rattachement mais ils sont suffisamment peu nombreux pour que notre nomenclature reste significative.

En dernier lieu, il faut souligner la part importante de la climatologie, par le biais des cyclones, dans la genèse des formations détritiques et l'évolution morphologique subactuelle et actuelle.

tel-00679334, version 1 - 15 Mar 2012

TROISIEME PARTIE

TROISIEME PARTIE

LES MOUVEMENTS DE TERRAIN

1. GENERALITES

1.1. Introduction

Nous avons montré, dans la deuxième partie de ce mémoire, que l'unité intermédiaire est caractérisée par des mouvements en masse, lents à l'échelle de la perception humaine. Exceptionnellement, leur évolution est marquée par des phases d'accélération mais elle ne cesse jamais, créant des conditions d'équilibre précaires à la périphérie de certains îlets (où apparaissent alors des mouvements plus épidermiques mais très préjudiciables). Les plus importants, quel que soit leur mode de déclenchement, se terminent par une phase de progression rapide en présence d'énormes quantités d'eau : les habitants parlent de "déboulé". Par la suite, après avoir analysé les mécanismes, nous montrerons que ce terme est préférable à tout autre.

1.2. Localisation géographique

La carte des "formes de l'érosion récente", (figure 3.1), de HUMBERT, PASQUET et STIELTJES (1981), permet d'inventorier et de localiser les événements les plus récents, ou plus exactement les zones sensibles qui ont connu des phénomènes gravitaires lors du passage du cyclone Hyacinthe (cf. chapitre III, Première Partie). Notre secteur d'étude est couvert par les zones B1, B2 et B6.

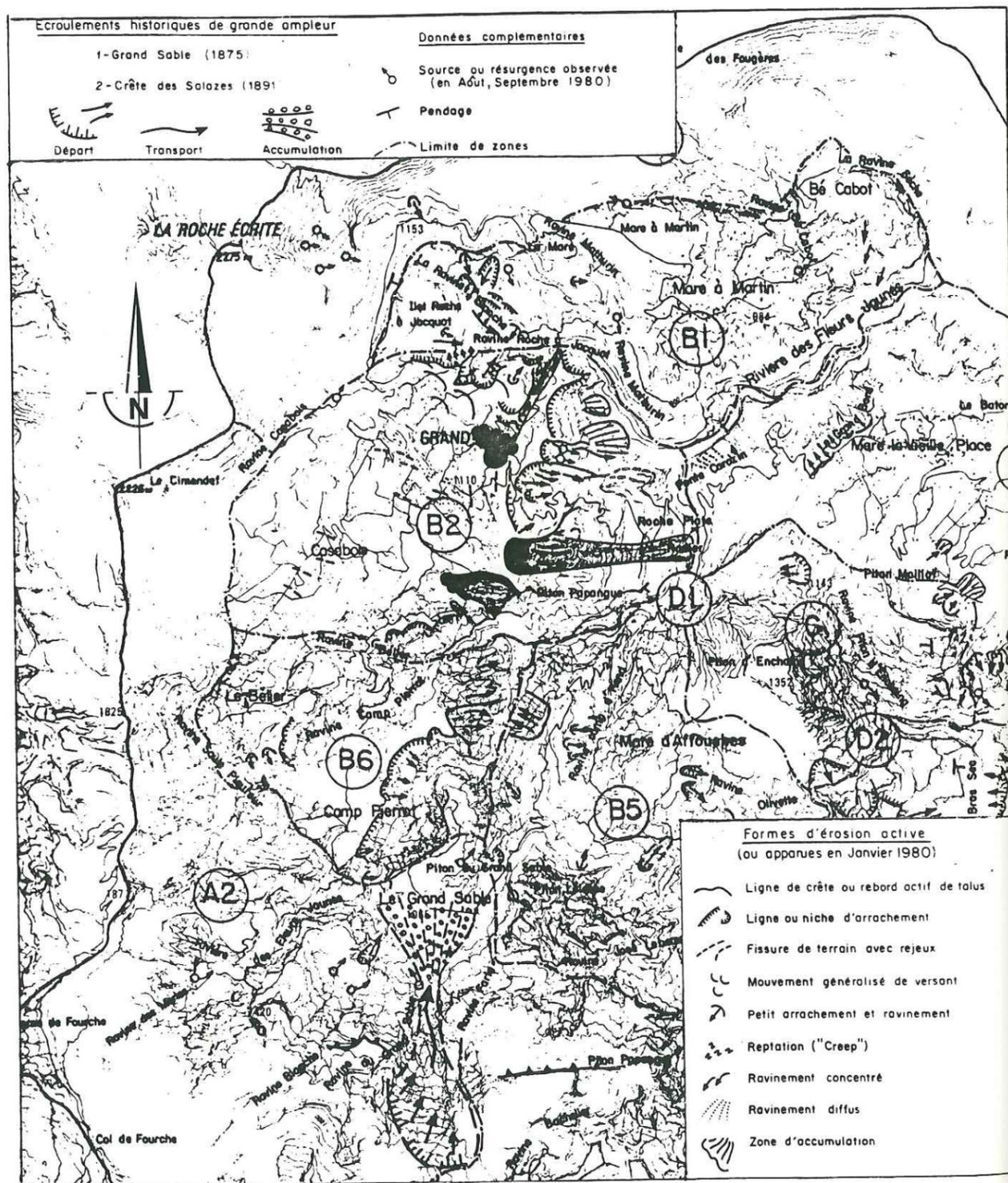


Figure 3.1. - Extrait de la carte : "Formes de l'érosion récente et zonage des terrains" par HUBERT, PASQUET, STIELTJES (1981).

Le secteur étudié regroupe les unités B₁, B₂, B₆. Les zones de départ des trois mouvements principaux de Grand Ilet apparaissent en foncé.

Chaque îlet a un comportement caractéristique qui se retrouve sur l'ensemble de son pourtour. Ainsi, la simple observation de la carte permet-elle les constatations schématisées ci-dessous :

	Mouvements et dégâts consécutifs graves	Peu de mouvements et peu de dégâts
Ilet	Grand Ilet s.s. Mathurin	Be Cabot - Roche à Jacquot - Camp de Pierrot - Mare à Martin - Le Béliet -
Formation géologique dominante	Unité Intermédiaire	Formations détritiques

Un déterminisme géologique apparaît avec la prédominance de l'unité intermédiaire dans les secteurs les plus gravement atteints.

2. LES CAUSES MAJEURES DE RUPTURE DES VERSANTS NATURELS

2.1. Rôle de l'eau

Nous ne reviendrons pas sur le mécanisme d'intervention de la pression interstitielle, qui est connu et a déjà été décrit par de nombreux auteurs auxquels on pourra se référer : il joue un rôle essentiel dans le déclenchement des mouvements de terrain. Ceci est particulièrement vrai à la Réunion, où l'extrême brutalité des précipitations favorise la saturation de volumes importants de sols. La variation très rapide des niveaux piezométriques qui en résulte, est donc inévitablement accompagnée, lors des percolations souterraines qu'elle provoque, par une croissance tout aussi brutale des forces massiques développées par l'eau (pression interstitielle et pression d'écoulement). Le secteur

de Grand Ilet est particulièrement menacé puisqu'il se situe dans la zone la plus arrosée de l'île, où les précipitations journalières supérieures au mètre ne sont pas rares. D'après les calculs de DURET (D.D.E.), la hauteur de précipitation en 24 heures, de période de récurrence de 10 ans, pourrait dépasser 1 400 mm à la station de Grand Ilet, (figure 3.2).

2.1.1. L'eau superficielle - les effets érosifs

L'érosion pluviale, le ruissellement et le ravinement jouent un rôle comportant, du fait de la violence des averses tropicales et de la faible cohésion de beaucoup de terrains.

Le ravinement est très intense sur les pentes moyennes à fortes du pourtour des îlets où il conduit à l'apparition de "Bad-lands" tels que ceux qui existent sur le flanc est de Grand Ilet s.s. . Par contre, il ne fait qu'égratigner les pentes très fortes telles que les remparts. Plus que la nature des matériaux, ce sont la faible extension des bassins versants et les difficultés de concentrations des eaux qui peuvent expliquer cela.

Les phénomènes érosifs aboutissent dans tous les cas à un creusement dont l'effet est de raidir les pentes, ce qui introduit, ici ou là, un facteur supplémentaire d'instabilité.

En fin de parcours ou en fin de crue, lorsque diminue la vitesse de l'eau qui s'écoule dans les ravines, la charge solide est abandonnée. Elle forme des épandages plus ou moins étendus et parfois très puissants. Des dépôts de plusieurs mètres peuvent ainsi être édifiés en quelques heures, comme ce fut le cas à l'emplacement du radier de Fleurs Jaunes durant Hyacinthe. Cependant, ces dépôts restent minimes si on les compare aux énormes quantités de matériaux convoyées jusqu'à l'océan.

2.1.2. L'eau souterraine

Quelques caractères spécifiques des aquifères du secteur

Le toit des océanites zéolitisées constitue un imperméable

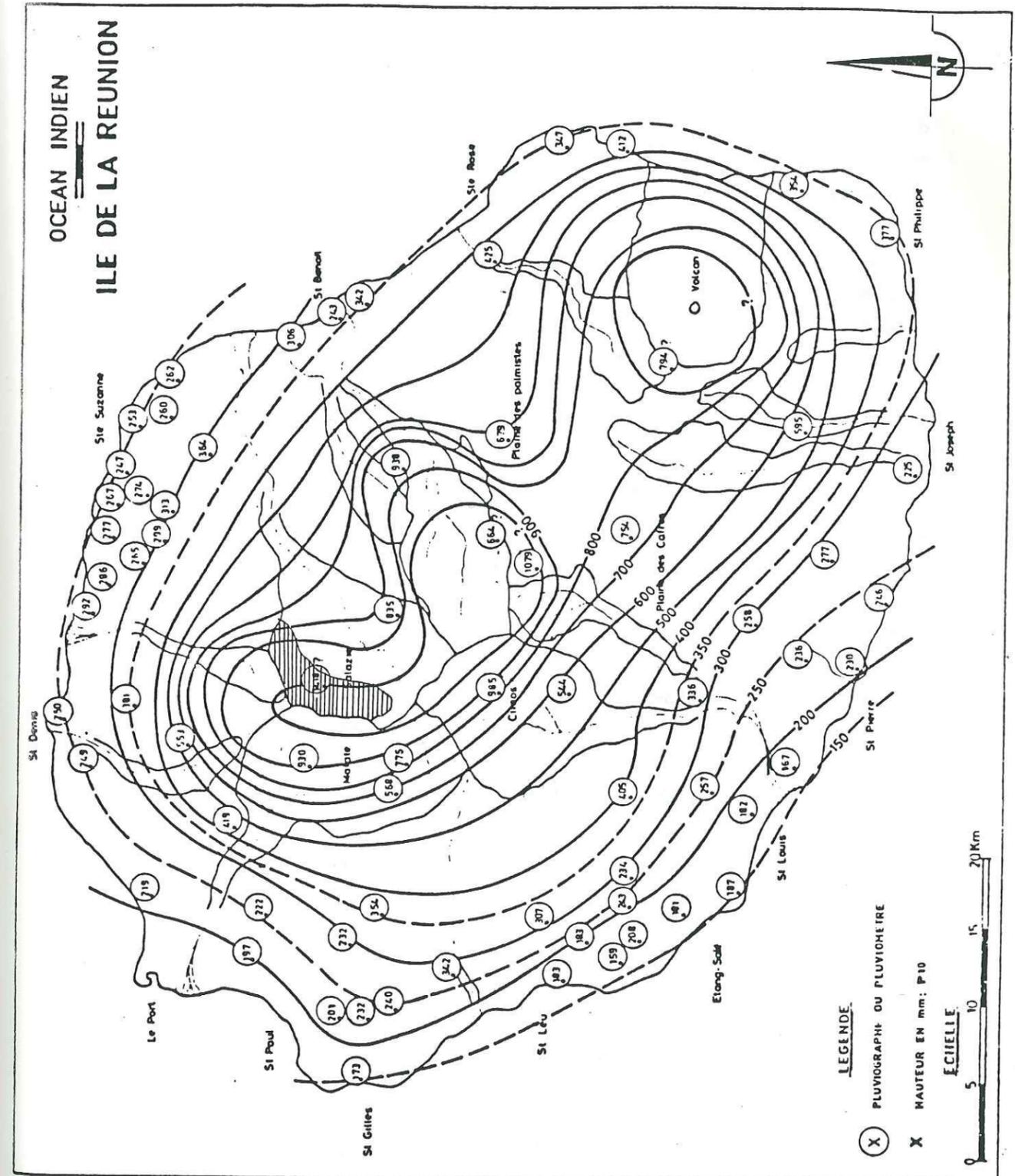


Figure 3.2. - Hauteur de l'averse de 24 heures (période 10 ans) (étude des maximums annuels de 1952 à 1980)

 Secteur de Grand Ilet

tel-00679334, version 1 - 15 Mar 2012

d'extension régionale, dans la mesure où cette formation n'a pas été affectée par une fissuration postérieure aux derniers phénomènes hydrothermaux. Ce toit représente généralement la surface de décollement qui a conduit à l'individualisation de l'unité intermédiaire. Caractérisée par une perméabilité de fissures et de microfissures, assez faible, mais aussi par des axes de drainage préférentiels aux limites de paquets glissés, cette unité constitue donc un aquifère. Et de fait, des sources se localisent toujours à sa base, au contact de son substratum.

Les formations superficielles constituent d'autres aquifères mais de caractéristiques évidemment plus hétérogènes. Des brèches cimentées peuvent, par exemple, former un "imperméable" relatif et provoquer la naissance de petites sources dont la distribution n'obéit à aucune règle précise. Quoiqu'il en soit, dans leur ensemble, les formations superficielles offrent une perméabilité bien supérieure à celle de l'unité intermédiaire.

La circulation rapide des eaux souterraines dans les formations détritiques est à l'origine de phénomènes de lessivage et d'entraînement des fines, sans conséquence grave pour leur stabilité. Par contre, la perméabilité relativement plus faible de l'unité intermédiaire entraîne sa saturation dès que l'intensité des précipitations atteint un seuil donné. Il est actuellement impossible de le chiffrer précisément, mais on peut affirmer qu'il est facilement dépassé lors des épisodes cycloniques. Ceci s'accompagne d'une forte remontée de la surface piézométrique qui vient affleurer dans les dépressions fermées, où la tranche d'eau visible peut atteindre plusieurs mètres. La charge hydraulique peut alors croître très rapidement provoquant une augmentation correspondante des pressions interstitielles dans les niveaux sous-jacents et l'apparition de pression de soulèvement.

2.2. Quelques autres causes de mobilisation de versants

N'oublions pas que les séismes peuvent intervenir en modifiant

temporairement le champ gravitaire appliqué au versant. Toutefois, les données sur la sismicité de l'île montrent qu'ils sont suffisamment rares et faibles pour que ce facteur soit considéré comme négligeable au regard d'autres qui sont exposés ici.

En dernier lieu, nous citerons quelques processus de déclenchement qui, bien que rares car ils nécessitent des conditions très particulières, pourraient intervenir à Grand Ilet comme ils l'ont déjà fait ailleurs dans le cirque de Salazie. Par exemple :

- L'effet d'impact d'un premier écoulement d'ampleur limitée sur une zone dont la stabilité est précaire. Il peut provoquer un mouvement beaucoup plus vaste, comme ce fut probablement le cas lors de la catastrophe de Grand Sable en 1875.

- La vidange rapide d'une mare, pérenne ou non. A la suite d'une montée exceptionnelle du niveau, le barrage naturel qui la retient peut se trouver ruiné, soit par percolation souterraine et renardage, soit par érosion aérienne consécutive au débordement, les deux cas évoluant finalement en débâcle. Ou bien l'arrivée d'une première masse glissée dans la cuvette inondée produit une chasse brutale, comme cela s'est produit pour la Mare à Poule d'eau en 1980.

Pour conclure, nous rappellerons que la très grande majorité des mouvements surviennent en période cyclonique ce qui atteste le rôle primordial de l'eau. En surface, elle est responsable d'une érosion "galopante" tandis qu'infiltrée, elle provoque des à-coups brutaux de la pression interstitielle, principale cause de déstabilisation.

3. LES MOUVEMENTS DE TERRAIN

Au moment d'entamer la description des principaux mouvements,

deux remarques s'imposent. L'une concernant la classification et l'autre, la terminologie. Les formes (simples et "théoriques") sont rares, alors que nombreux sont les mouvements à caractère composite. Pour cette raison, nous commencerons par les décrire indépendamment d'une quelconque classification qui pourrait se révéler trop rigide à l'usage. Par ailleurs, il faut admettre que les termes du vocabulaire géotechnique et géologique traditionnel sont souvent pris en défaut par les phénomènes rencontrés à la Réunion, du fait des caractéristiques géologiques et pluviométriques propres à l'île. Aussi, un grand nombre de mouvements se résolvent-ils en coulées boueuses. Bien que ce terme vienne spontanément à l'esprit à la vue des matériaux abandonnés (blocs, matrice, etc.), il est démenti par la grande célérité du phénomène. De ce fait, nous avons proposé, dans un premier temps, le terme de lave torrentielle. Il est malheureusement peu satisfaisant car une lave torrentielle résulte de l'évolution d'un cours d'eau qui, dans certaines conditions, se charge de matière solide alors qu'ici, il s'agit d'une masse de terrain saturée d'eau qui, décohérée brutalement par une déformation engendrée par une ébauche de glissement, se liquéfie en raison de sa très forte teneur en eau. Cependant, "liquéfaction" est déjà employé en géotechnique et se trouve le plus souvent associé à l'idée de séismes ou pour le moins de vibration. La description de la coulée de Grand Ilet qui suivra, illustrera ces propos. En définitive, le terme local de "déboulé", que nous avons déjà mentionné, nous paraît le mieux adapté.

3.1. Les mouvements liés à des discontinuités structurales

Pour l'essentiel de son étendue, la surface de glissement coïncide avec une discontinuité préexistante, responsable de la localisation précise de la rupture.

3.1.1. Les discontinuités soulignées par des intrusions

Les sills et les dykes peuvent jouer un rôle mécanique important

dans la stabilité d'un massif rocheux, en fonction de leur orientation par rapport à la topographie. Les contraintes développées dans le massif sollicitent soit leurs caractéristiques propres, soit celles de leurs épontes. Dans le premier cas, la résistance au cisaillement des intrusions étant supérieure à celle de l'encaissant, elles constituent une source d'armature (figure 3.3 a et b) alors que dans le second, la résistance au cisaillement aux épontes étant souvent inférieure à celle de l'encaissant (altération), les intrusions affaiblissent le talus et favorisent le glissement (figure 3.3 c et d).

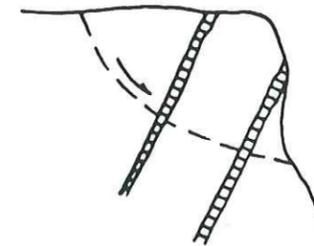


Figure 3.3. a

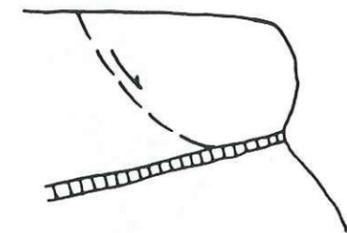


Figure 3.3. b

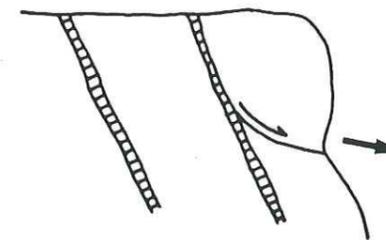


Figure 3.3. c

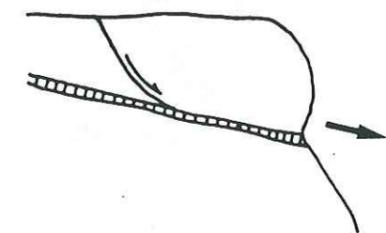


Figure 3.3. d

Figure 3.3.- Rôle mécanique des intrusions dans un massif rocheux en fonction de leur orientation par rapport à la topographie.

3.3. a et b - Le mouvement potentiel correspond au cisaillement de l'intrusion (dyke ou sill). La stabilité du massif est bonne.

3.3. c et d - Le mouvement potentiel correspond à un cisaillement aux épontes. La stabilité est affaiblie.

tel-00679334, version 1 - 15 Mar 2012

au-dessus de la base du talus, le mouvement n'a pu s'interrompre comme dans le cas précédent. La rigidité du coin rocheux interdisant toutes déformations, il se fractura totalement et s'étala en un cône d'éboulis à forte pente de taille métrique à plurimétrique.

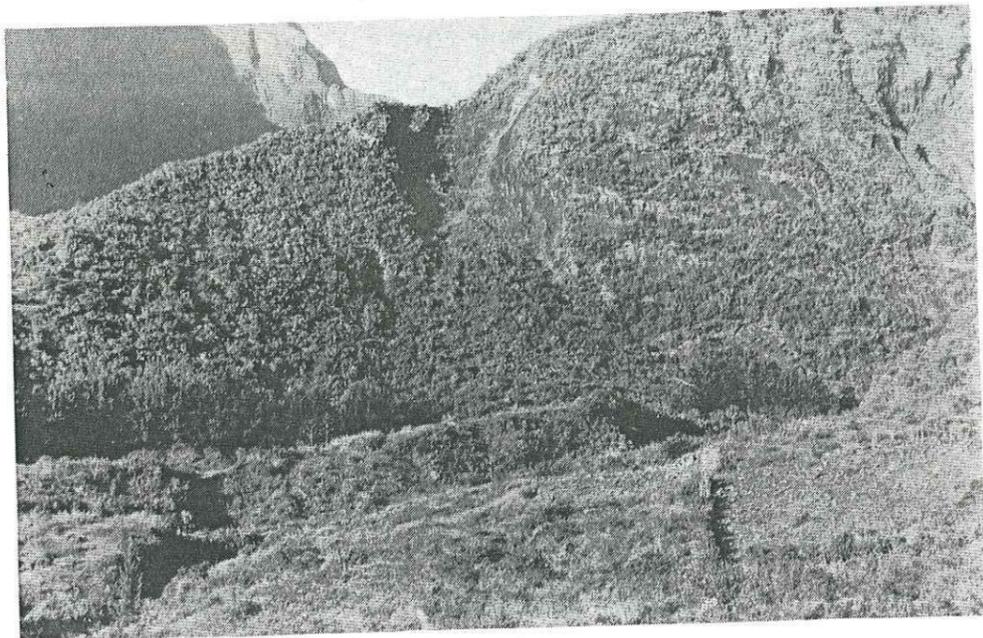


Photo n°9 - Ecoulement de la crête descendant du Piton Marmite.

3.1.2. Les discontinuités dépourvues d'injections

■ Eboulement du rempart dominant la tête de la ravine Casabois

(figure 3.4 n°3). Il s'est déclenché, à la suite des pluies diluviennes du cyclone Hyacinthe. Le volume d'éboulis peut être estimé entre 30 000 et 50 000 m³, étalés sur une largeur d'environ 200 m entre la ravine Casabois et le pied du rempart. Le plan de rupture est subverticale dans sa partie haute et s'incurve vers le bas.

La coupe ainsi dégagée montre deux types de terrains en couches alternées (ils se retrouvent, du reste, dans l'ébouli où ils sont plus facilement observables). Il s'agit d'un basalte massif gris bleuté très dur, d'une part, et d'une brèche volcanique bien indurée mais plus friable correspondant à des projections, d'autre part. L'épaisseur des niveaux de basalte est assez constante.

Les schémas de la figure 3.6 permettent d'exposer le mécanisme de rupture.

Les schémas 1,2 et 3 représentent les phases préparatoires à la rupture. Elles concernent l'ouverture progressive d'une fissure verticale (sa présence est confirmée par l'observation des terrains restés en place de chaque côté de l'écroulement) qui favorise l'infiltration alors que le pied du rempart est peu à peu affouillé.

Les stades 4 et 5 représentent la phase catastrophique du mouvement lent mais inexorable apparu auparavant. Elle coïncide avec une période de violentes précipitations.

Schéma 4 - La butée de pied disparue, le niveau inférieur altéré et sollicité par le poids de la colonne, se désorganise profondément. Les ruptures qui interviennent favorisent affaissement et basculement qui aboutissent à l'écroulement.

Schéma 5 - Finalement, le socle de brèche se montre découpé par un plan incliné tandis que les restes de la colonne constituent sur le versant, un chaos de blocs de taille extrêmement variable. L'hétérométrie est plus marquée pour les brèches (elle traduit la déformation intense liée à l'écroulement) que pour les basaltes, dont la fissuration naturelle a guidé la fragmentation.

Les vides de l'ébouli sont essentiellement comblés par de la brèche broyée. Ceci peut constituer une explication à l'absence de blocs de brèches dans les formations détritiques. Broyés dès le

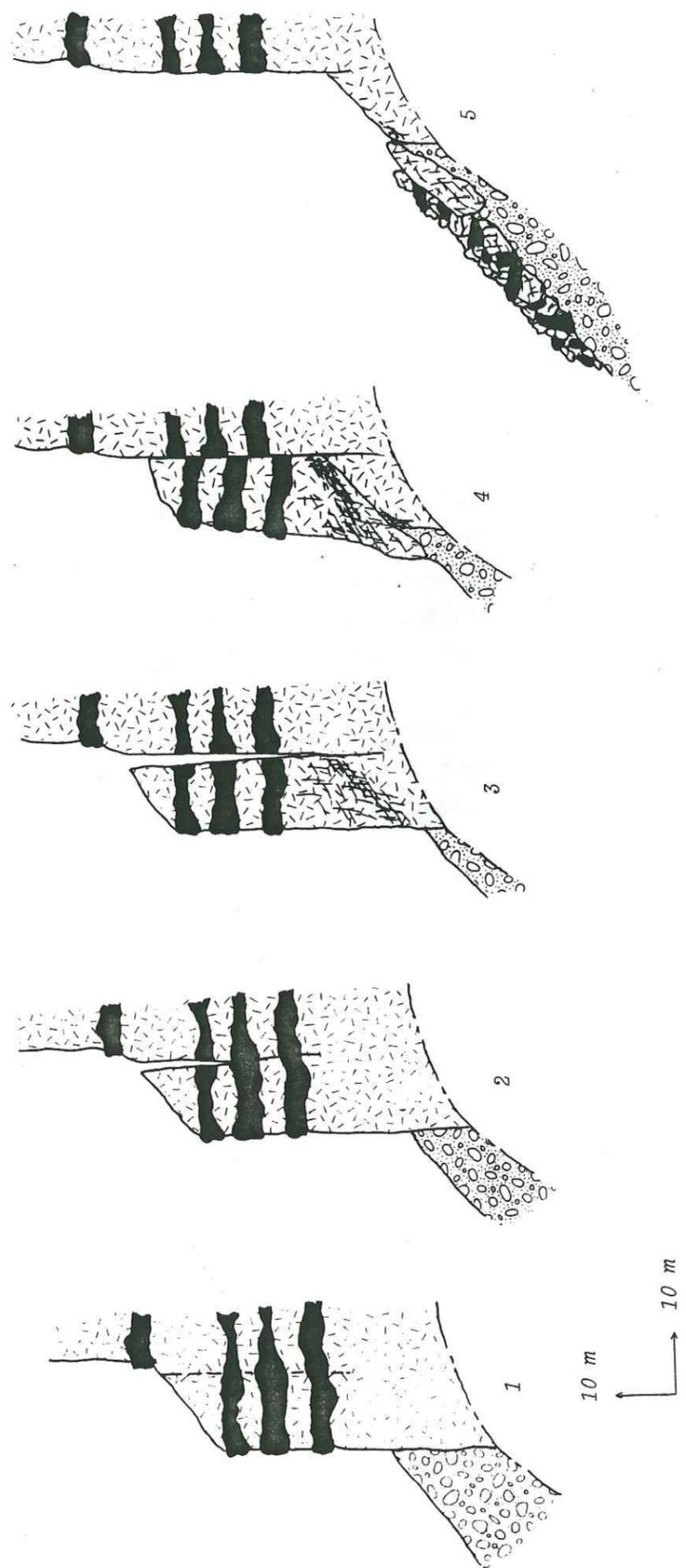


Figure 3.6. - Schéma résumant l'évolution possible d'une portion du rempart dominant la ravine Casabois.

début, facilement altérables et délitables par la suite, ils en forment la matrice.

Dans les trois exemples que nous venons de citer, la phase de transport est brève et ne fait pas intervenir de grandes quantités d'eau. Lorsque l'évolution est complète, on aboutit à un chaos de blocs. Les paramètres du mouvement sont simples, on parlera d'écroulement.

3.2. Les mouvements composites évolués

La distinction que nous avons introduite (cf. 3.1) précédemment, ne signifie pas que les discontinuités structurales ne jouent, ici, aucun rôle, mais il n'est pas prépondérant. Pour les raisons déjà exposées, nous utiliserons, à propos de ces mouvements, le terme de déboulé plutôt que de laves boueuses.

3.2.1. Le déboulé du flanc est de Grand Ilet s.s. (figure 3.4 n°4)

Il est devenu tristement célèbre puisqu'il causa, le 27 janvier 1980, la disparition de dix membres de la famille Nourry. Le mouvement a démarré au bord du plateau puis est descendu jusqu'à la rivière Fleurs Jaunes. Il paraît avoir comporté deux phases principales :

- le glissement de la partie sommitale,
- le déboulé qui a parcouru deux petits vallons taillés dans le versant.

● Morphologie de l'ensemble du versant

Caractéristique, elle résulte de phénomènes érosifs et de

tel-00679334, version 1 - 15 Mar 2012

mouvements anciens qui ont fait suite à l'enfoncement de la rivière Fleurs Jaunes. Les crêtes parallèles à la pente ont été isolées du bord du plateau par l'élargissement des têtes de ravines. De ce fait, elles ne subissent plus guère la poussée destabilisante de l'ensemble de l'unité intermédiaire. La figure 3.7 résume l'évolution probable de ce versant, qui a créée les conditions actuelles favorables à l'apparition du déboulé.

● Description et géologie sommaire (figure 3.8 Annexe 4)

Le talus supérieur est formé par une niche en arc de cercle très ouvert, large d'environ 300 m, depuis le Nord du Piton Papangue jusqu'à l'amont de la ravine bordant le CD 52, et haute d'une cinquantaine de mètres ; elle recoupe des terrains peu remaniés. - au Sud, ceux-ci sont rigides, intensément fracturés, de teinte dominante rouille ; - au Nord, ils ont l'aspect d'océanites très zéolitisées, sans fracturation apparente ; - des couloirs d'éboulis masquent la zone de transition qui correspond probablement à la limite entre deux paquets d'unité intermédiaire ; - la trace d'un ancien lit de ravine, large d'une dizaine de mètres, apparaît comblée par des blocs de teinte claire.

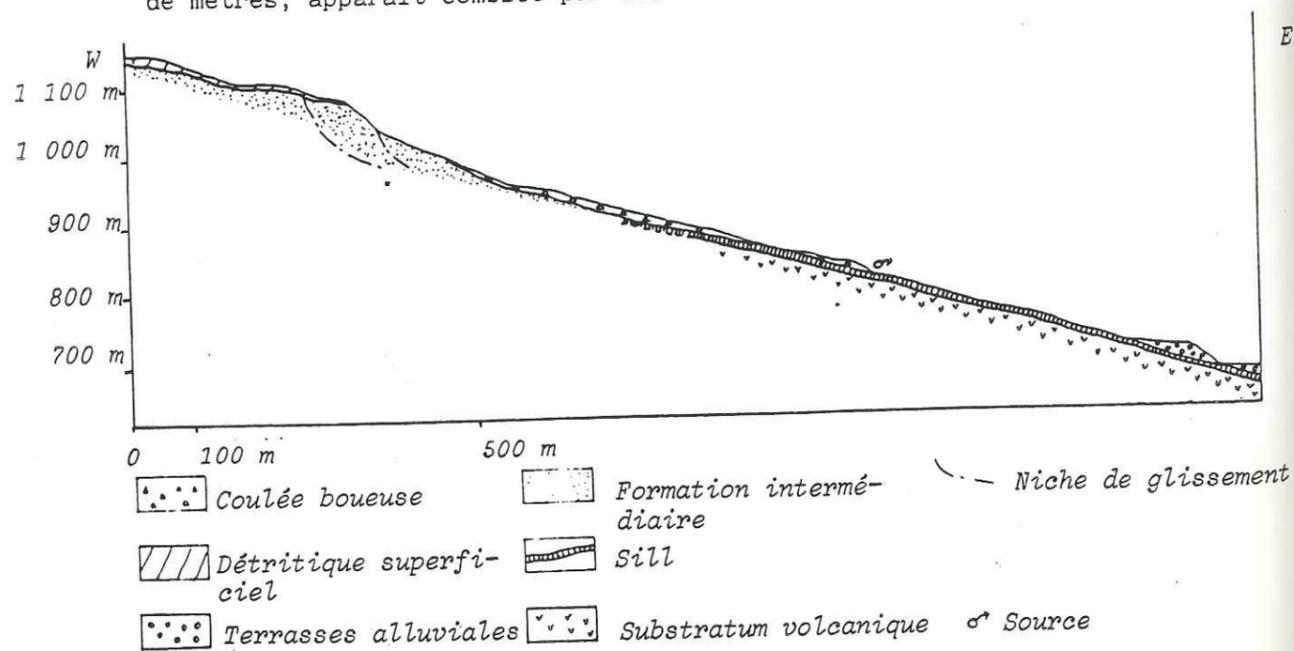


Figure 3.8. - Coupe selon l'axe du déboulé du flanc est de Grand Ilet s.s.

- I. La rivière Fleurs Jaunes a taillé le versant. Dans la partie basse, le sill affleure, puis il se prolonge sous l'unité intermédiaire où pour le moins au début, il se confond avec sa discontinuité basale.
 - II. Le ravinement affecte la pente.
 - III. L'érosion régressive atteint le bord du plateau. Les têtes de ravines s'élargissent et provoquent l'apparition de fissures et des premiers tassements.
 - IV. Les niches de tête se rejoignent, leur pente est supérieure à celle du talus d'équilibre. Les eaux météoriques pénètrent les fissures et des panneaux commencent à s'affaisser. La crête inter-ravines est individualisée et dès lors ne sera plus guère sollicitée.
 - V. Le processus de la phase IV s'accroît. L'axe des ravines peut être découpé jusqu'au sill.
 - VI. Certains panneaux sont complètement détruits par les affaissements successifs et fournissent un matériau incohérent sensible à l'eau. Ce facteur, associé à des précipitations considérables, entraîne l'apparition de déboulés dévastateurs, auxquels le sill découpé fournit un excellent radier.
- Le déboulé de 1980 est assimilable à ces stades V et VI.

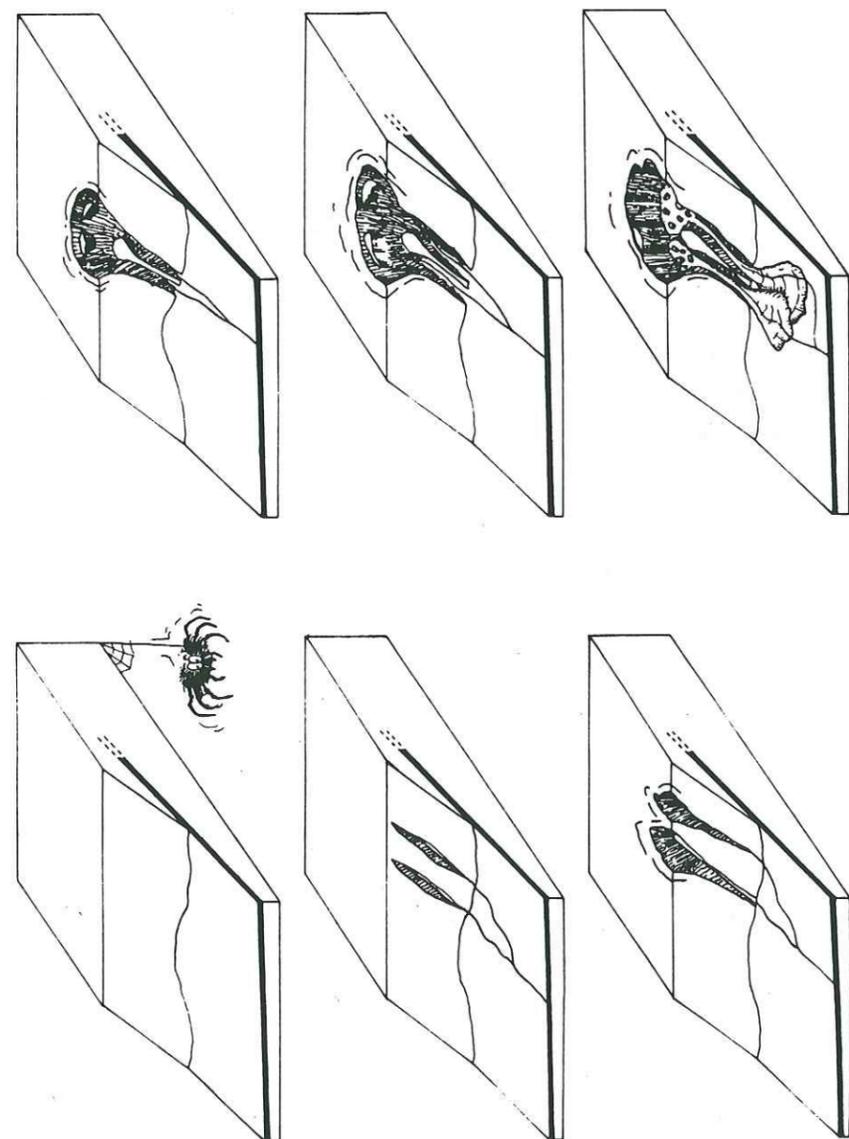


Figure 3.7. - Evolution morphologique du flanc est de Grand Ilet.

Le plateau intermédiaire, large de 100 m à 200 m, est fait de gradins successifs de plus en plus étroits vers l'aval, coupés de nombreuses crevasses parfois ouvertes.

Le talus inférieur, (pente de 30° à 35°), est entièrement formé d'éboulis de toute nature pétrographique ; il est scindé en deux par la crête qui sépare les ravines à l'aval.

Les ravines sont partiellement encombrées par des dépôts à allure de coulées boueuses (blocs et matrice terreuse) ; - localement, l'érosion a atteint le substratum et on voit apparaître des portions de sills ; - au-delà du confluent, la ravine coule en permanence sur une surface rocheuse.

● Données générales nécessaires à la compréhension du phénomène

La topographie de Grand Ilet s.s. est irrégulière, faite de bosses et de creux avec, entre autres, des cuvettes fermées, lesquelles, inondées lors des précipitations de très forte intensité, constituent des points d'infiltration forcée.

L'émergence des eaux infiltrées ne se fait que loin à l'aval et de manière diffuse au contact entre le sill de Roches Plates et les terrains sus-jacents ainsi que dans des ravines lorsqu'elles sont creusées jusqu'au substratum. D'après un témoignage local, 3 à 4 jours de pluie suffisent pour faire apparaître les sources, mais elles tarissent après un délai équivalent. La saturation des terrains est rapide et le temps de transfert bref.

Il n'y a pas de régulation du régime des eaux souterraines, les pressions interstitielles peuvent croître très vite.

Les eaux ruisselant à la surface du talus supérieur se perdent immédiatement sur le plateau intermédiaire.

Aucune sortie d'eau exceptionnelle n'était apparue dans le versant à la veille de la catastrophe, alors que la hauteur d'eau atteignait près de 10 m dans certaines dépressions fermées.

La présence de mouvements anciens, attestée par l'observation des photographies aériennes, témoigne d'une instabilité chronique des terrains et accroît les possibilités d'infiltration sans pour autant favoriser le drainage du massif. On ne note guère de modifications entre 1961 et 1978, ou pour le moins sans commune mesure avec celles induites par le déboulé de 1980, avant lequel le drainage de la niche de glissement était assuré par la ravine sud alors qu'aujourd'hui il l'est conjointement par les deux.

● Le mécanisme supposé de la rupture

Dans le cas de précipitations normales, les premières eaux qui sortent des griffons, au pied du versant, sont troubles. Il semble donc que le début de l'écoulement soit accompagné par l'entraînement de particules fines, le squelette plus grossier n'étant pas affecté. Puis les eaux redeviennent claires.

Si les précipitations sont plus intenses, le débit des sources croît avec la charge hydraulique jusqu'au moment où la capacité de l'aquifère n'est plus suffisante pour permettre un stockage par infiltration.

Une fois l'aquifère saturé, l'augmentation de la pression interstitielle peut provoquer ici ou là sa rupture, ce qui déclenche un glissement, le panneau affecté venant se bloquer contre un autre situé plus bas.

De proche en proche, les tronçons successifs du versant transmettent ainsi leur poussée aux niveaux inférieurs, eux-mêmes saturés et ne bénéficiant d'aucune butée. Sous cette contrainte, ils perdent leur cohésion et, la pression d'écoulement aidant, explosent littéralement en un déboulé destructeur.

La progression est d'autant plus rapide que les matériaux sont canalisés par les ravines dont le fond, occupé par le sill, constitue un véritable toboggan. Au-delà de la zone la plus encaissée, le flot boueux peut déborder et s'étaler latéralement puis, progressivement essoré, il s'immobilise.

Le ravinement a creusé, dans la niche principale, des rigoles, constituant autant de coupes, qui montrent que la surface de glissement n'a pas été déterminée par une discontinuité lithologique ou structurale ancienne. Le pendage de 40° dans un matériau homogène (à l'échelle du mouvement) évoquerait plutôt une rupture par cisaillement.

Un point très important doit être souligné : le sill de Roches Plates n'est pas directement responsable du mouvement.

3.2.2. Le déboulé nord-est de Grand Ilet s.s.

(figure 3.4 n°5)

Il eut des conséquences moins dramatiques que le précédent, mais il est beaucoup plus spectaculaire du point de vue de l'évolution du versant (photo 10). Ce dernier était exempt de manifestations récentes d'instabilité, comme le confirment les photographies aériennes de 1978. Mais, nous avons montré dans la deuxième partie de ce mémoire, que les tassements dus à l'individualisation de l'unité intermédiaire sont très développés dans ce secteur. Deux talus, (AA' et BB'), hauts de 20 à 30 m, étaient nets (figures 3.9 et 3.10), entamés par une niche, ils ont présenté une évolution qui détermine deux zones différentes de morphologie caractéristique (figure 3.10).

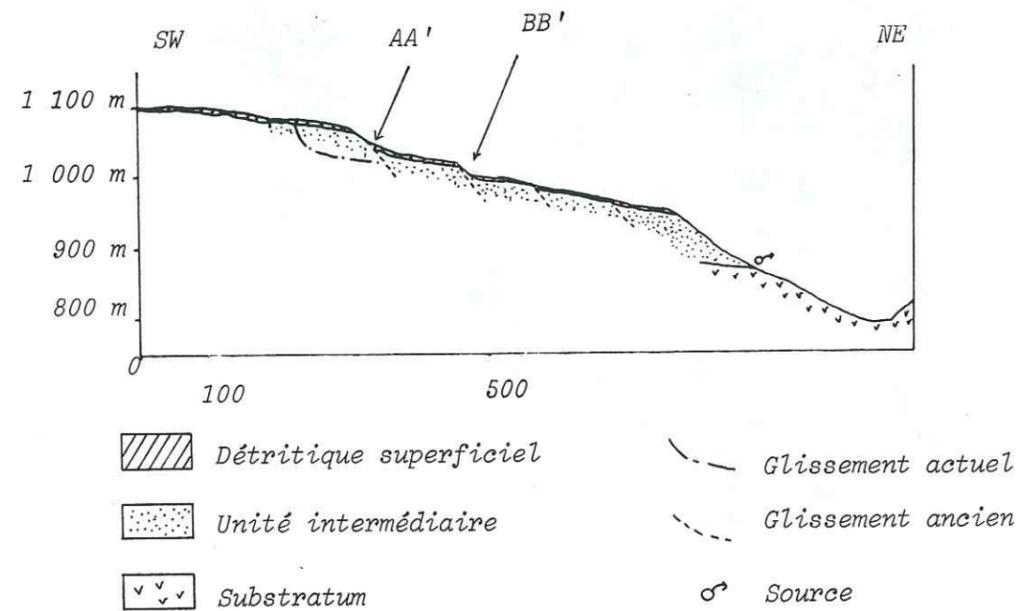


Figure 3.9. - Coupe selon l'axe du déboulé NE de Grand Ilet s.s.

tel-00679334, version 1 - 15 Mar 2012

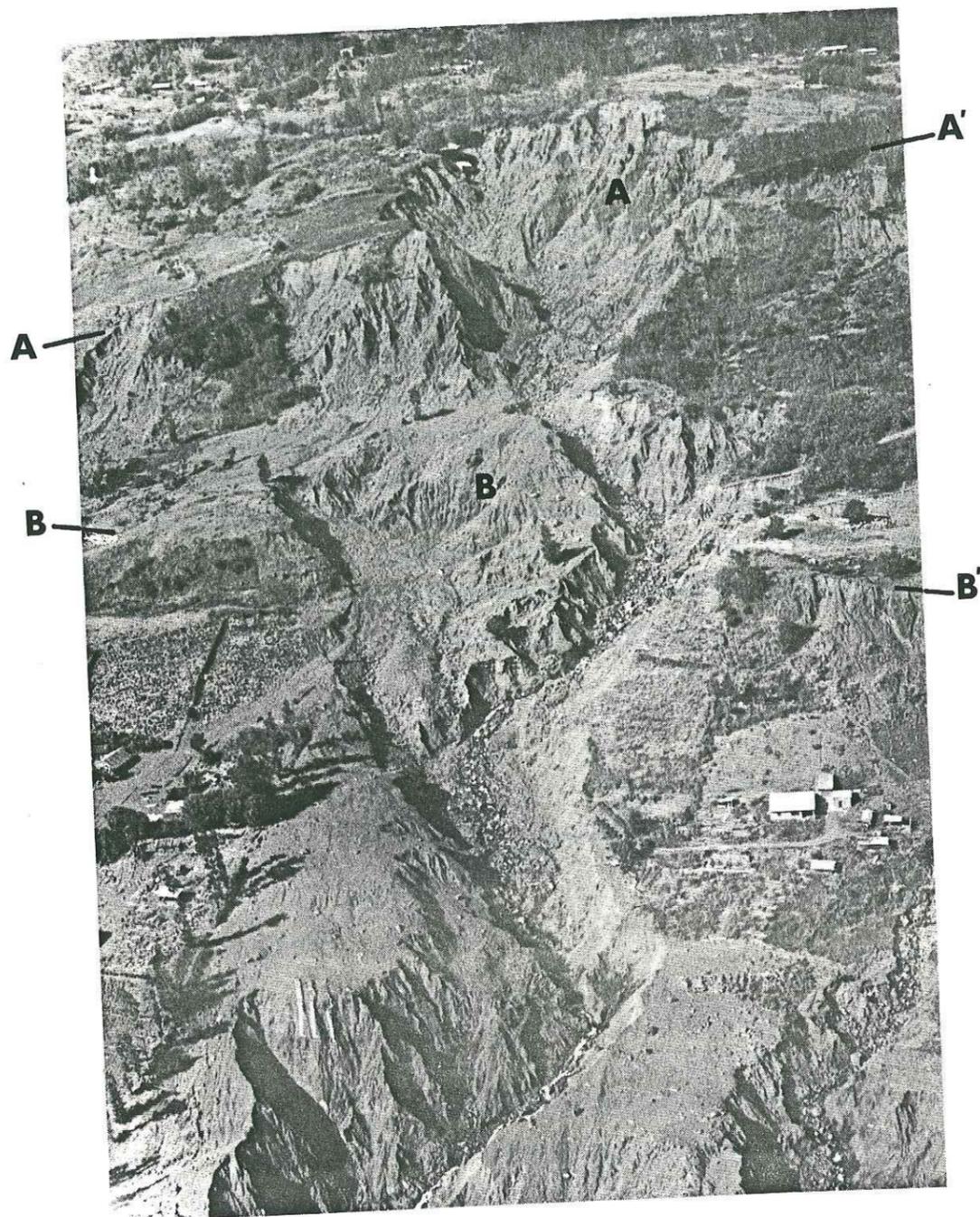
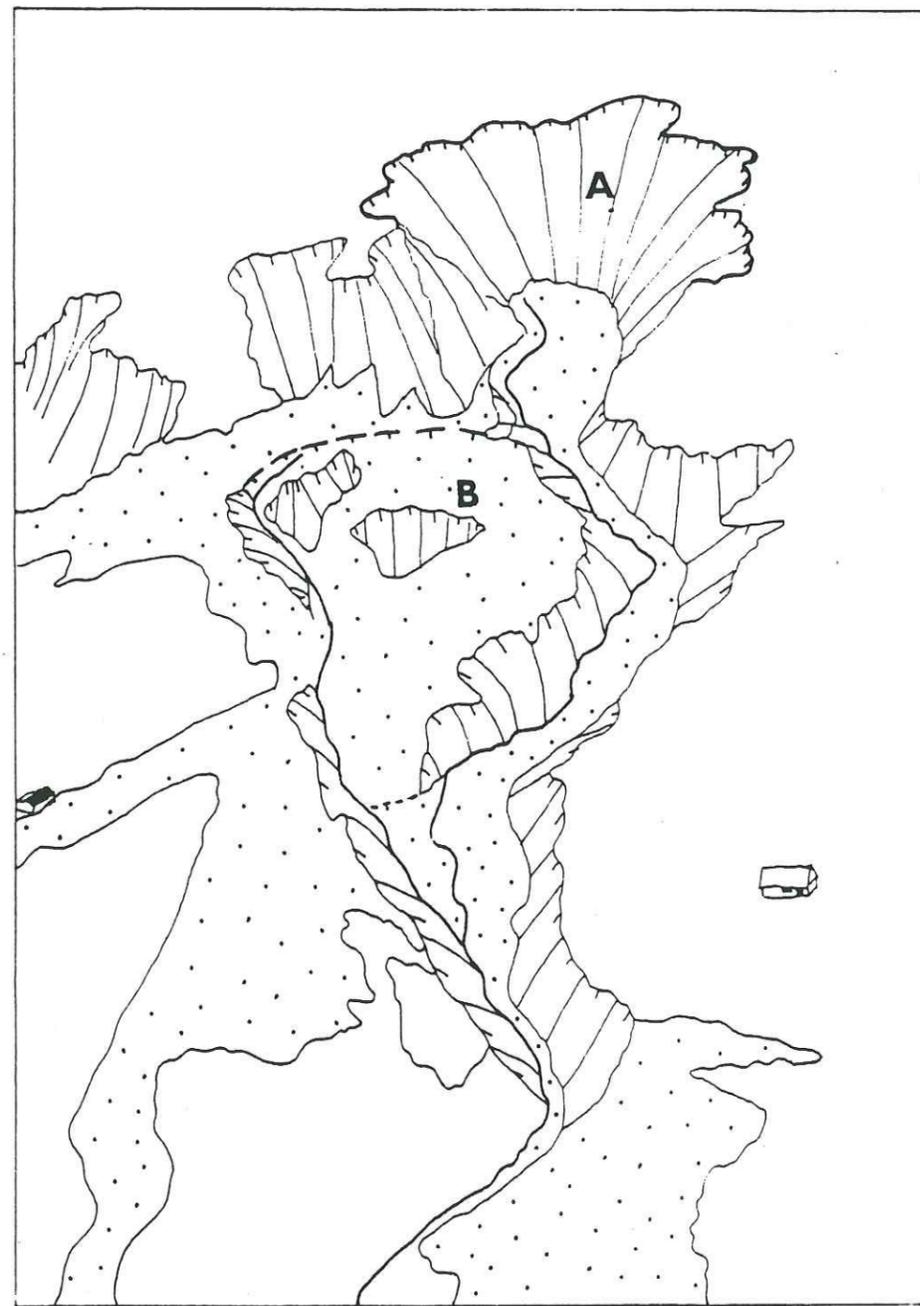


Photo 10 - Déboulé de Grand Ilet

Les deux zones principales de mouvement (A et B) correspondent à deux talus, vestiges de mouvements plus anciens et plus vastes. La chute des pylônes électriques ne semble pas due à la rupture de leur fondation mais plutôt au passage des matériaux glissés largement étalés dans le secteur.

On observe, dans la niche supérieure, une maison restée suspendue par un câble. Le chemin quant à lui, a été totalement détruit.



-  Limite de la niche supérieure
-  Limite probable du panneau inférieur
-  Zone d'arrachement
-  Epandage de produits de déboulé

Figure 3.10. - Déboulé NE de Grand Ilet. Interprétation de la photo 10.

tel-00679334, version 1 - 15 Mar 2012

Le talus supérieur, zone A

La niche de départ est large d'environ 150 m, profonde de 50 m, ses pentes se redressent vers le sommet jusqu'à plus de 45°.

Les terrains recoupés sont des océanites zéolitisées d'une part et des niveaux beaucoup plus durs, très fracturés, de teinte rouille, accompagnés de projections, et affleurant surtout dans le flanc gauche, d'autre part.

Le mouvement résulte clairement de la rupture de l'ancien talus à la suite d'une forte croissance des pressions interstitielles dans un matériau fragile gorgé d'eau.

L'évolution en déboulé est immédiate, les terrains totalement disloqués dévalent le versant en l'entaillant sur 10 à 30 m de profondeur pour venir se jeter dans la ravine Roche à Jacquot après s'être largement étalés de part et d'autre de leur axe de progression.

Des sources auraient jailli dans la paroi après la première rupture, favorisant la fluidification des terrains éboulés.

Le talus inférieur, zone B

Le mouvement correspond au glissement de l'ensemble d'une partie du talus mais n'est pas suivi de décohésion brutale. Il n'alimente que très modestement le déboulé par le ravinement des bordures du panneau déplacé.

La cicatrice amont est oblitérée par des produits du déboulé supérieur indiquant une pseudo-stabilisation rapide.

Cette évolution incomplète a limité les conséquences du phénomène de 1980 mais contribué à maintenir une instabilité latente plus forte.

Etat actuel

La niche supérieure (zone A) est cernée, sur quelques mètres, par des fissures ouvertes, accompagnées de tassements qui évoluent en arrachements métriques à décimétriques. Gênants, mais peu inquiétants, ils devraient se poursuivre jusqu'à ce que les pentes de la niche aient retrouvé un profil stable.

Le panneau aval (zone B) reste en mouvement lent. Des arbres poussant à sa surface sont nettement inclinés vers l'aval indiquant un mouvement qui a tendance à accentuer la pente naturelle. De plus, nous avons pu observer, en 1983, des fissures ouvertes de 5 à 10 cm et longues de 20 m dans une brèche grossière à matrice sablo-gréseuse très friable. Dans un tel matériau, elles ne seraient pas restées visibles après une saison cyclonique et témoignent donc d'une évolution récente du mouvement.

La ravine creusée en 1980 est aujourd'hui sèche jusqu'à la cote 980, à environ 200 m de la grande cascade de Roche à Jacquot, où le sill affleure avec un pendage de 20° à la cote 900. Ce contexte rend possible l'émergence des eaux grâce au prolongement du sill. Cependant, la parfaite continuité de celui-ci reste toute à démontrer; nous expliquerons la localisation de la source essentiellement par la présence du substratum sous-jacent et, par là-même, celle de la discontinuité basale de l'unité intermédiaire.

La coupe du flanc SE du glissement intermédiaire nous renseigne sur la structure interne du secteur. Il est fait d'affaissements en marches d'escalier confirmant l'existence d'un ancien mouvement généralisé du versant (figure 3.11).

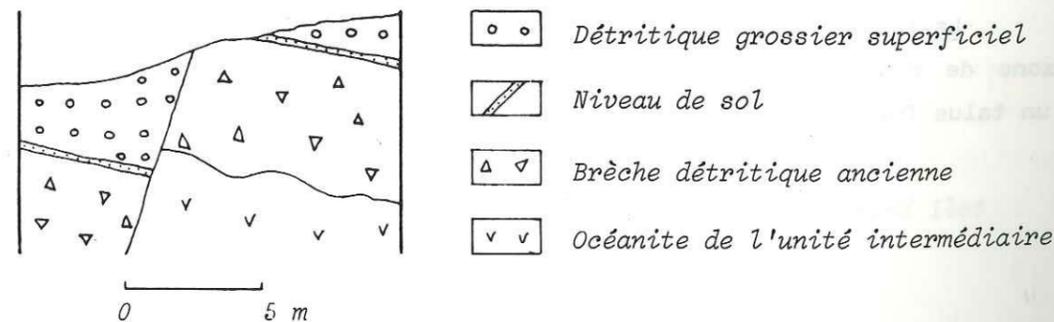


Figure 3.11. - Décalage d'un niveau de sol témoignant de mouvements anciens dans le panneau inférieur (B).

3.2.3. Le déboulé sud de Grand Ilet (figure 3.4 n°6 et Annexe 4)

Il a dû présenter le même enchaînement que les deux précédents, avec :

- une phase de glissement de la partie sommitale,
- un déboulé vers le bas, mais dont les produits ont totalement disparu pour des raisons essentiellement morphologiques,

- en effet, l'orientation de la ravine du Bélier par rapport aux structures du substratum l'a conduite à s'enfoncer verticalement, contrairement à la rivière Fleurs Jaunes (figure 3.12). De ce fait, la décohesion de matériaux, largement entamée, est parachevée par le plongeon dans la ravine (photo 11), où le débit de crue l'évacue immédiatement vers l'aval. Ceci n'est peut-être pas étranger à l'alluvionnement exceptionnel constaté à proximité et sur le radier de Roches Plates.

● Description et géologie sommaire

Le talus supérieur, long de 300 m, haut d'une cinquantaine, étiré depuis la première ravine affluente de rive gauche de celle du Bélier jusqu'au Piton Papangue, recoupe des terrains de l'unité intermédiaire; un chemin carrossable le franchissait.

Le plateau intermédiaire, large de 150 m, vestige d'un ancien affaissement, présente une pente assez régulière vers l'aval. Entièrement cultivé, il était traversé d'Est en Ouest par le sentier Papangue.

La falaise inférieure, taillée dans les océanites, remplace la zone de propagation des déboulés. Son sommet se raccorde au plateau par un talus fortement raviné.

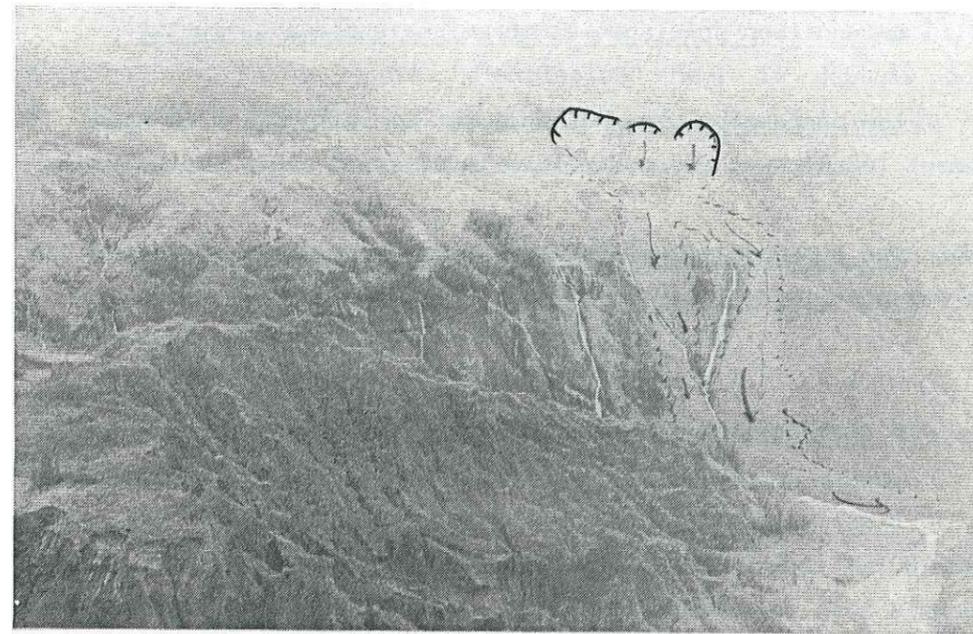


Photo 11 - Le déboulé de Grand Ilet, 4 jours après le passage de Hyacinthe.

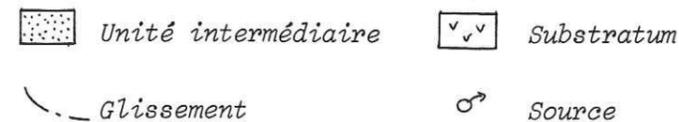
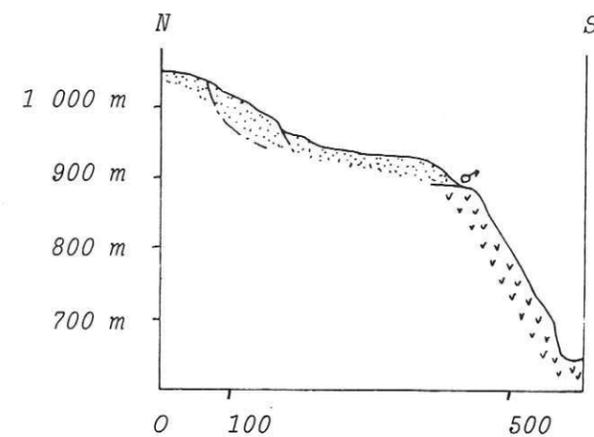


Figure 3.12. - Coupe du déboulé sud de Grand Ilet

tel-00679334, version 1 - 15 Mar 2012

● Condition préalable et mécanisme supposé de rupture

Les dépression fermées, en arrière de la bordure, étaient totalement inondées et débordaient à l'aval avant la rupture.

Une pression interstitielle excessive est certainement encore responsable de la rupture d'équilibre.

● Etat actuel

L'ancien plateau est aujourd'hui occupé par une succession de gradins de toutes dimensions, plus ou moins affaissés dont les talus sont soumis à un ravinement intense.

Deux ravines drainent le plateau et se jettent dans la vallée, de part et d'autre d'un môle formé par le pointement d'un énorme dyke visible dans toute la falaise. Elles deviennent pérennes à partir d'une ligne de sources située à environ 1 000 m et induite par la proximité du substratum imperméable.

Des fissures, ouvertes de 10 à 20 cm parcourent sur 20 m de largeur le bord du plateau et délimitent de petits gradins dont le décalage peut atteindre le mètre.

Les deux chemins d'accès ont totalement disparu.

3.2.4. Remarques générales sur les trois accidents

- Ils affectent le bord de Grand Ilet s.s. où l'unité intermédiaire est la mieux représentée, et où les dépressions fermées sont les plus nombreuses, favorisant, lorsqu'elles se remplissent, la mise en charge des eaux souterraines.

- Ils se déclenchent brutalement (un témoin nous a parlé de grondement, voire de bruit "d'explosion" pour le déboulé sud) et évoluent aussitôt en déboulés qui progressent très vite (la famille Nourry n'eut malheureusement pas le temps d'évacuer son habitation).

- Il existe toujours des émergences à l'aval, situées au toit du substratum et marquant la discontinuité basale de l'unité intermédiaire.

- Ils font reculer les limites d'instabilité à l'intérieur de Grand Ilet s.s. et restreignent d'autant la surface utilisable.

3.3. Les mouvements de grande envergure

Nous avons déjà décrit de puissantes formations détritiques que nous attribuons à de vastes écroulements dont nous ne pouvons reconstituer l'évolution du fait des modifications morphologiques ultérieures.

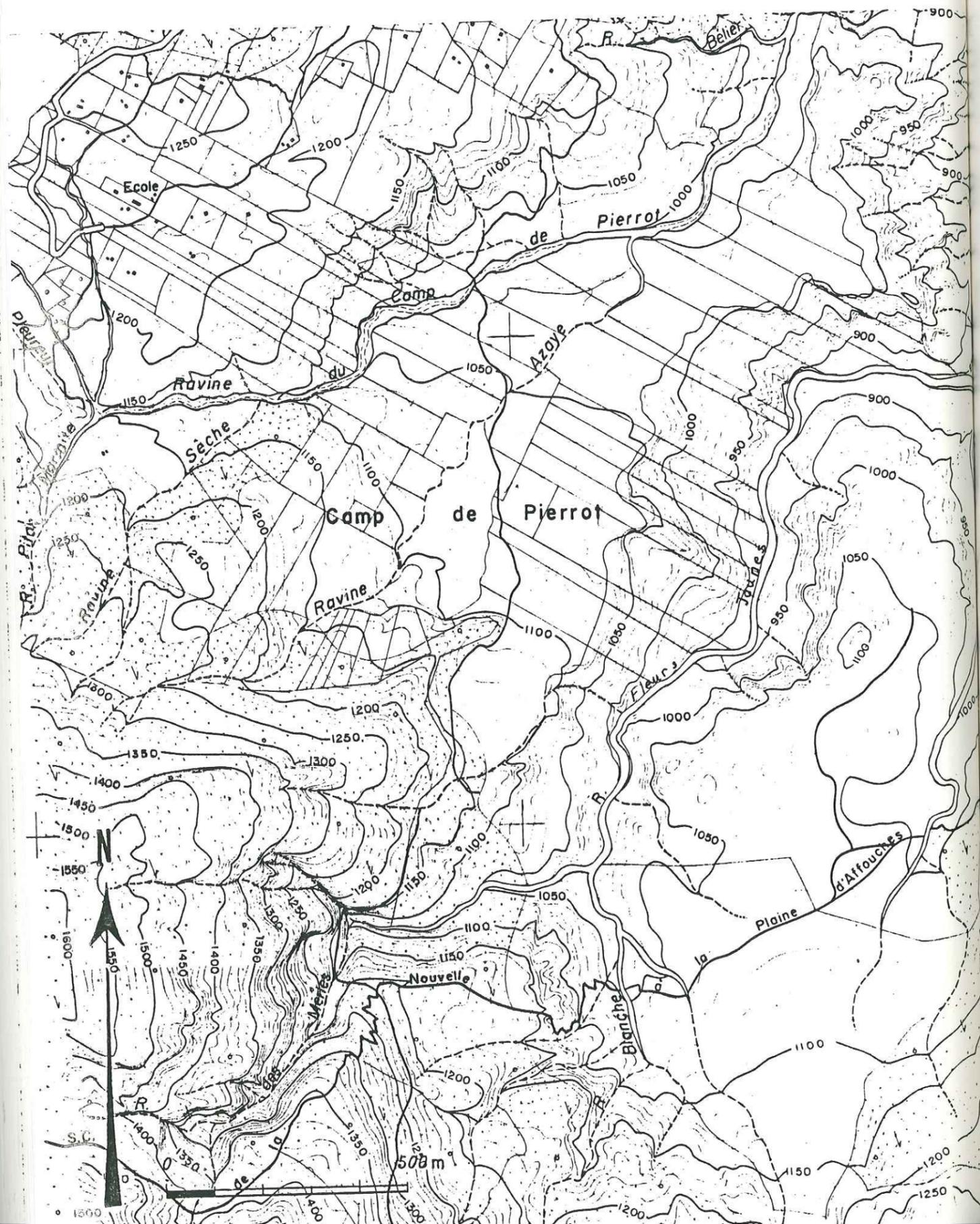
Une accumulation de ce type, qui occupe le plateau de Camp de Pierrot, peut toutefois être interprétée par comparaison avec une autre, occupant un site voisin, qui résulte d'un événement plus récent, sur lequel on possède des témoignages, l'écroulement de Grand Sable, (figure 3.4 n°7), survenu au siècle dernier (figure 3.13).

Au pied du Gros Morne, une paroi de plus d'un kilomètre carré (ngs),* dominant le petit vallon encaissé de Grand Sable, s'est en effet écroulé en 1875. Ses débris ont atteint le confluent de ce vallon avec le bras de Fleurs Jaunes, à une distance de 2 km, et près de 900 m plus bas (depuis le sommet de la niche), ensevelissant la totalité du vallon sous un entassement de blocs, épais d'au moins 40 à 50 m, et représentant un volume de 18 à 20 hm³ (figures 3.13 et 3.15 ngs).*

Camp de Pierrot est un plateau long de 1 000 m et large de 600 m incliné du SW vers le NE, à surface peu tourmentée. Il est limité au N par le versant du Béliver, à l'E par la vallée de Fleurs Jaunes et au S (côté amont), par les pentes basses du Morne de Fourche.

* Les indices sont ceux de la figure 3.15.

Figure 3.13. - Localisation des secteurs de Camp de Pierrot et de Grand
Sable.



Sur toute son étendue, il est couvert par des blocs décimétriques à métriques déchaussés de leur matrice terreuse par le ruissellement. Si l'on descend vers l'E jusqu'au fond de la rivière, où affleure le substratum, on constate qu'il est entièrement constitué de brèches détritiques.

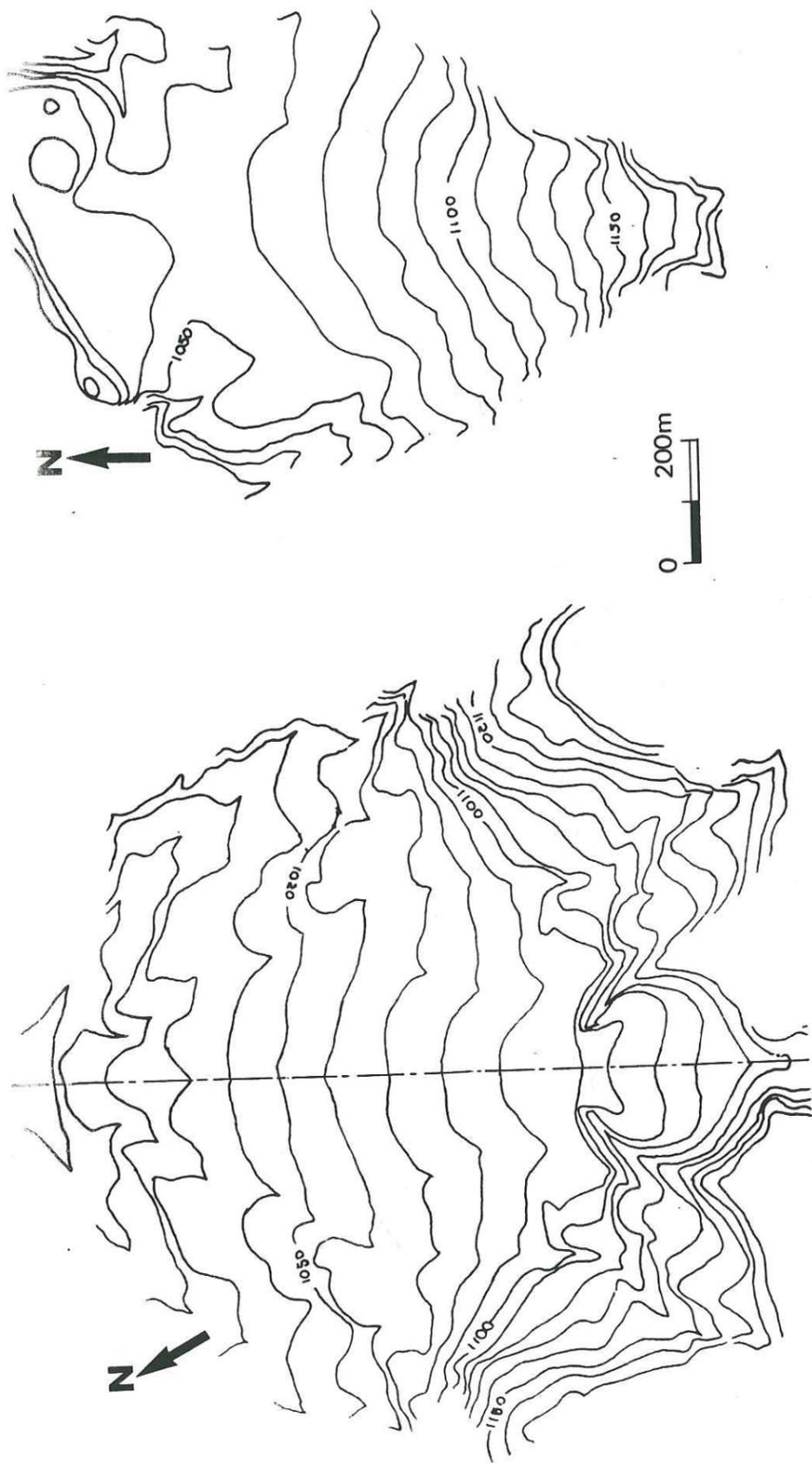
Analyse morphologique : Si l'on rapproche les cartes topographiques des deux secteurs (figure 3.14), on constate une similitude entre les courbes du plateau de Camp de Pierrot et celles d'une moitié de la plaine de Grand Sable. Ceci nous a suggéré, afin d'obtenir une image au moins approchée de l'aspect initial de Camp de Pierrot, de le compléter vers l'Est, côté où il a visiblement été érodé par Fleurs Jaunes, par un panneau symétrique, image de celui qui a subsisté. Ce panneau comble approximativement la vallée de Fleurs Jaunes, sans atteindre des courbes correspondant à des pointements de substratum, dont la présence rendrait cette hypothèse absurde.

Sur l'accumulation initiale, une ravine latérale (côté E) se serait progressivement enfoncée, le déblaiement de la moitié des apports meubles créant la vallée actuelle de Fleurs Jaunes. Constatant que, dans l'écroulement de Grand Sable, la ravine Blanche s'est enfoncée de près de 50 m depuis 1875, on peut penser qu'il a fallu quelques siècles à Fleurs Jaunes pour arriver à son assiette actuelle.

Photo-interprétation (cliché 234 - 235 REU 10-250, 1978)
(figure 3.15)

Si les grands traits morphologiques du plateau découlent d'un vaste écroulement, on observe aussi des formes dues aux apports des ravines Azaye et Camp de Pierrot.

- la première a bâti les buttes "a_a" et "a_b" et se limite maintenant à une zone de divagation centrale, "a",



Grand Sable

Camp de Pierrot

On observe dans les deux cas : une zone amont étroite où les courbures sont concaves et qui correspond à l'extrémité du secteur où les produits étaient canalisés.

- une zone qui s'élargit en éventail où les courbures sont convexes et qui correspond à l'étalement des matériaux détritiques ;

- la présence de ravines latérales qui marquent la limite avec la topographie antérieure à l'éroulement.

Figure 3.14. - Reconstitution par symétrie de la surface topographique du glissement de Camp Pierrot et comparaison avec celle de Grand Sable.

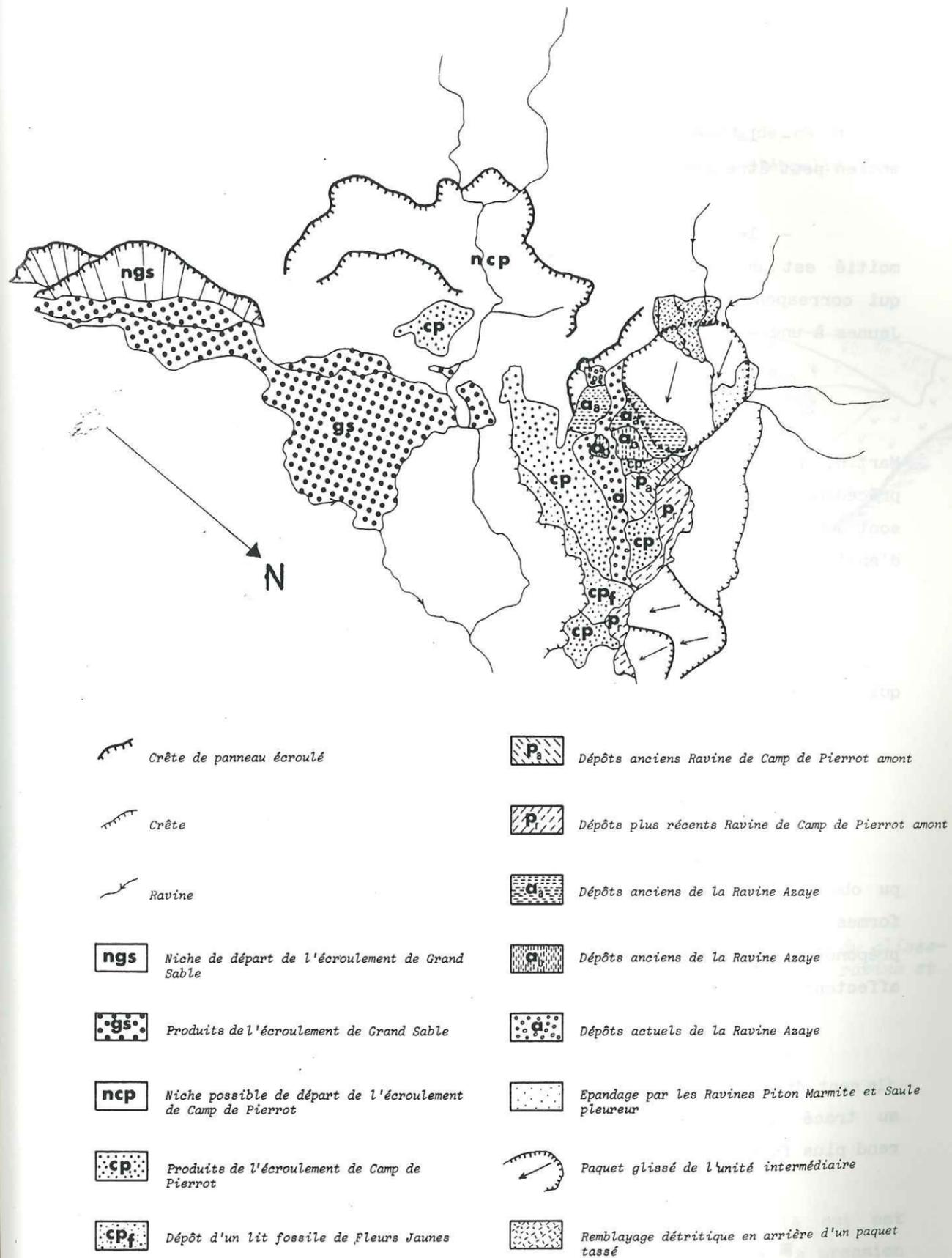


Figure 3.15. - Photo-interprétation des régions de Camp de Pierrot et Grand Sable (clichés 234 - 235 Mission 103 REU 250)

- la seconde a bâti la butte "p_a". Actuellement, son lit ancien peut être assimilé à la zone "p_r".

- les produits de l'éroulement majeur occupent surtout la moitié est du plateau ("cp"), ils sont recoupés par une bande N-S qui correspond probablement à un ancien lit tardif de la rivière Fleurs Jaunes à une époque où elle se jetait dans la ravine Camp de Pierrot.

● On peut signaler que la plaine où est située la Mare à Martin, présente quelques points communs avec les deux secteurs cités précédemment : la topographie et la nature des matériaux de surface sont relativement comparables. Mais nous n'avons pas trouvé suffisamment d'analogies pour pousser plus avant le rapprochement.

De même, la crête qui sépare Casabois du Béliet (Annexe 3) semble formée par les produits d'un éboulement de remparts qui se seraient peu étalés.

3.4. Les glissements mineurs

Ils sont certainement plus nombreux que ce que nous avons pu observer, mais du fait de leur taille réduite (décamétrique), leurs formes caractéristiques sont le plus souvent détruites par les effets prépondérants du ravinement. A l'inverse des grands glissements, ils affectent essentiellement les formations détritiques.

Les deux que nous décrivons ici présentent un point commun: ils sont directement liés à une modification topographique consécutive au tracé d'un chemin. C'est cette localisation particulière qui les rend plus facilement observables.

■ Le premier se trouve sur la rive gauche d'une petite ravine

au passage d'un chemin à 200 m au NNE de l'embranchement de ce dernier sur le CD 52 (figure 3.16 a). Il affecte un placage d'éboulis fins remaniés et colmatés ou de coulée boueuse (figure 3.16 b).

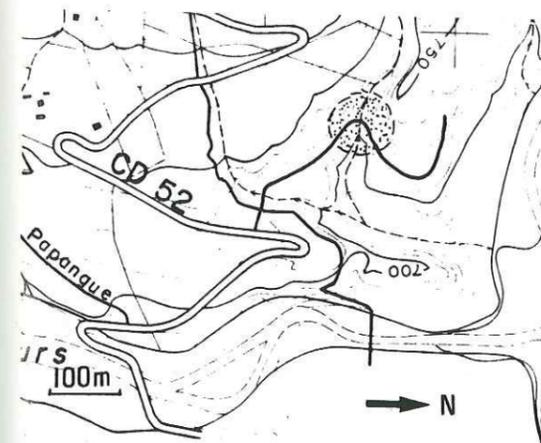
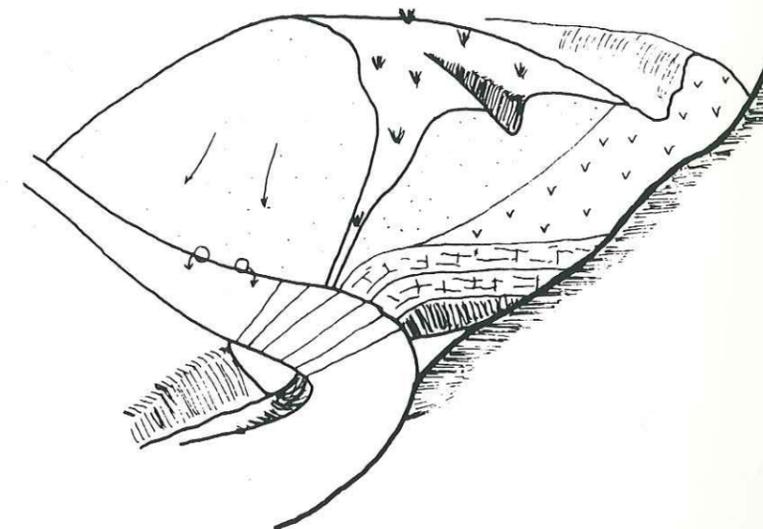


Figure 3.16 a - Localisation du premier exemple de glissement mineur.



-  Formation détritique
-  Substratum avec intrusion
-  Plan de glissement

Figure 3.16 b - Localisation du glissement par rapport à la ravine et au chemin.

Il a été provoqué par :

- une pente excessive du talus du chemin,
- l'augmentation locale du gradient hydraulique (à qui est offerte une issue artificielle) et la croissance excessive de la pression d'écoulement.

■ Le deuxième exemple (figure 3.4 n°9) concerne le Nord du chemin de Mare à Martin à Be Cabot avant la descente sur la ravine du même nom.

Ici encore, ce sont des formations détritiques à matrice argileuse qui sont affectées. Des loupes de glissement d'ampleur décimétrique se succèdent sur 100 m de long, partout où le chemin a été tracé en déblai. Le talus n'excède pourtant pas 3 à 4 m de hauteur, mais la pente était beaucoup trop importante pour un matériau dont la faible perméabilité ne favorise pas le drainage.

3.5. Conclusion

Il est possible d'établir une corrélation entre les types de mouvements que nous venons de décrire et leur localisation géographique:

- les écroulements de très grande ampleur du type Grand Sable sont obligatoirement liés aux remparts, qui seuls peuvent fournir des volumes de matériaux très importants ;

- les écroulements de plus petite taille affectent les zones rocheuses les plus rigides, toujours à proximité des remparts. Ils sont dus soit au basculement d'une colonne isolée (Casabois), soit au cisaillement des épontes d'une intrusion (Piton Marmite) ;

- les glissements évoluant en déboulés dévastateurs prennent naissance en bordure des filets. Ils concernent toujours des terrains de l'unité intermédiaire, où la rupture apparaît à la suite d'une forte et brutale augmentation de la pression interstitielle. L'évolution en lave boueuse, ou plutôt déboulé, est pratiquement instantanée. Dans les trois cas étudiés, une partie importante des matériaux mobilisés a atteint une des vallées principales où elle a été étalée par le débit de crue ;

- les glissements mineurs visibles que nous avons rencontrés étaient le plus souvent provoqués par des terrassements, ayant induit

une croissance importante du gradient hydraulique, d'où une répartition aléatoire ;

- enfin le ravinement attaque violemment toutes les pentes de Grand Ilet.

Sans distinction, ces désordres sont évidemment favorisés par l'intensité des précipitations tropicales.

QUATRIEME PARTIE

LA STABILITE DES TERRAINS DANS LE SECTEUR DE GRAND ILET

A la suite du cyclone Hyacinthe, les pouvoirs publics ont souhaité que l'on puisse prévoir certains événements aux conséquences catastrophiques. Ce problème est extrêmement complexe du fait du grand nombre de facteurs concernés. La solution retenue doit s'intégrer aux projets d'établissement de P.E.R. (Plan d'Exposition aux Risques naturels) qui englobent des phénomènes tels que séismes, inondations, mouvements de terrains...

1. Rappel sur la notion de "risques naturels" - Principes et usages de leur cartographie

Le terme de risque associe la probabilité d'occurrence de phénomène naturel répétitif (cyclone) ou aléatoire (mouvement de terrain) à la notion de dommage aux biens et aux personnes (vulnérabilité).

L'étude des risques de mouvements de terrain a bénéficié depuis une dizaine d'années de travaux méthodologiques et opérationnels importants qui ont abouti à la réalisation de cartes dites "ZERMOS" (Zone exposée aux risques de mouvements du sol). Ces cartes de synthèse des conditions de stabilité d'une région découlent de la superposition de cartes de facteurs tels que la nature géologique des terrains, la morphologie ou l'hydrogéologie.

Ces cartes à contenus scientifique et technique n'ont qu'une

valeur informative. L'objectif actuel est d'aboutir à l'établissement de plans à valeur administrative qui, intégrés aux documents d'urbanisme tels que les POS, permettront la décision et la réglementation. Ce sont les P.E.R.

La rédaction de ces plans découlera d'un double processus correspondant à deux niveaux d'intervention.

- Le premier, de caractère technique et scientifique, amènera à l'élaboration d'une carte de risques (C.R.) qui définit les différents paramètres des phénomènes naturels étudiés. Pour les mouvements de terrain, cette carte sera proche des cartes ZERMOS citées auparavant.

- Le second, de caractère administratif et politique doit aboutir à la définition de zones constructibles ou non en fonction des impératifs du risque défini et des aménagements existant ou en projet ainsi que des techniques de prévention et de protection qui peuvent être mises en oeuvre. C'est le Plan d'Exposition au Risque, P.E.R., dont l'élaboration est un acte administratif qui s'appuie sur la carte de risque en liaison avec les techniciens qui l'ont établie.

Notre tâche s'est, bien évidemment, limitée à produire une carte de synthèse à caractère scientifique.

2. Les facteurs pris en compte

2.1. La nature des terrains

Elle doit être mentionnée dans la mesure où elle induit leur comportement. De ce point de vue, chacune des trois unités géologiques que nous avons définies présente des caractéristiques homogènes. Leurs limites sont donc significatives en termes de stabilité.

- Le substratum : c'est un milieu rigide anisotrope, hétérogène, fracturé, susceptible d'offrir une perméabilité de fracture. Il est généralement stable mais peut éventuellement, si la morphologie s'y prête, être à l'origine d'écroulements (cf. remparts).

- Les formations détritiques : sont des milieux pour lesquels prédomine le caractère pulvérulent. Bien drainées, elles sont généralement assez peu sensibles à l'action des eaux souterraines (sauf cas d'élévation extrêmement rapide des pressions interstitielles). Par contre, elles sont sensibles aux affouillements.

- L'unité intermédiaire : présente des caractères variables puisqu'il s'agit du substratum remanié par des mouvements de grande ampleur. On y rencontre donc tout à la fois des terrains plus ou moins cohérents, des axes de drainage préférentiels et une très grande sensibilité à la croissance des pressions interstitielles. La plupart des difficultés majeures dans le domaine des "risques naturels" y trouvent leur origine.

2.2. Les données structurales

Les nombreuses discontinuités d'origine structurale présentes au sein des massifs rocheux influent directement sur leur stabilité, en fonction de leur orientation, de leur fréquence et de leurs intersections avec la topographie.

Dans les terrains volcaniques, certaines discontinuités sont coupées par des intrusions dont le rôle peut être important.

- Les discontinuités sans intrusion sont nombreuses dans le substratum de Grand Ilet. Elles sont plus facilement observables dans les terrains non hydrothermalisés lesquels, plus rigides, en gardent mieux la trace.

Cette rigidité associée à l'ouverture des fissures semble favoriser les écroulements et explique la localisation périphérique de ces derniers à l'intérieur des cirques.

Les terrains hydrothermalisés du bâti de Grand Ilet sont tout aussi fissurés mais leur moins grande rigidité ne permet pas le maintien de l'ouverture des fissures et semble procurer une meilleure stabilité au massif (Ex. Les gorges de Roche à Jacquot).

Les discontinuités avec intrusions

Elles doivent être suffisamment épaisses, peu fracturées et continues latéralement pour intervenir de manière prépondérante dans la stabilité des terrains.

Leur rôle peut être :

- Un rôle d'armature si leurs caractéristiques mécaniques propres sont sollicitées,

- un rôle de "glissoir" si les caractéristiques mécaniques de leurs épontes sont sollicitées.

Par ailleurs, les intrusions jouent un rôle dans la circulation des eaux souterraines et peuvent influencer sur le développement des pressions interstitielles. Cependant, il est difficile de déterminer une règle de comportement car elles se comportent, soit comme des drains, soit comme des barrières hydrauliques.

2.3. Hydrogéologie et hydrologie

Il est inutile de revenir sur le rôle déterminant des précipitations cycloniques. A l'avenir, il serait souhaitable de préciser le seuil d'intensité pluvial critique au delà duquel les conditions de stabilité risquent d'être gravement modifiées.

● Les données sur les sources de Grand Ilet sont peu nombreuses. Cependant, on peut définir deux familles.

- Les sources liées au toit du substratum

Elles marquent toutes la discontinuité basale de l'unité intermédiaire et c'est là la principale information qu'elles apportent. L'étude des variations de leur débit serait plus significative que leur simple localisation pour le suivi des instabilités.

- Les sources des formations détritiques

Elles soulignent la présence de niveaux imperméables susceptibles de petits glissements localisés. A ce titre, elles devront être inventoriées de manière aussi exhaustive que possible même, si elles présentent des débits inexploitable.

● Etude du réseau hydrographique

Elle doit nous permettre de distinguer des portions de réseau à creusement linéaire systématique de celles qui ont atteint un profil d'équilibre. Ces distinctions pourront se faire en fonction des caractéristiques du lit tant du point de vue de sa forme que des terrains qui l'occupent.

- Les seuils de roches dures

En arrière de ceux-ci, et sur une distance fonction de la pente, le creusement est impossible. Ils se trouvent essentiellement sur les ravines principales. Ex. : Cours de la ravine Roche à Jacquot à l'emplacement de la grande cascade ; cours de la ravine du Béliet avant son confluent avec la rivière Fleurs Jaunes.

- Les lits de rivières à profils plats

Ils sont les plus larges, avec lits mineur et majeur bien individualisés, ils indiquent un faible pouvoir érosif du cours d'eau

et correspondent souvent à des zones d'alluvionnement. L'érosion des rives, bien que possible, ne se manifeste que lors des crues exceptionnelles. Ex. : le cours de la rivière Fleurs Jaunes à l'aplomb de Grand Ilet s.s. .

- Les ravines à profil en V

Elles montrent un approfondissement permanent tant linéaire que par sapement de leurs berges. Les matériaux entraînés contribuent à accroître la charge solide du cours d'eau. Ceci concerne surtout les petites ravines affluentes des rivières principales.

- Les lits à très gros blocs (métriques à plurimétriques)

Ces blocs sont résiduels, ils ne peuvent être déplacés par le courant et jouent un rôle de briseur de charge.

Ex. : le cours amont de la ravine Casabois.

2.4. La morphologie

● La valeur des pentes naturelles d'un secteur détermine pour une bonne part ses conditions de stabilité. A Grand Ilet, on peut déterminer quatre familles de pente de comportement homogène.

Les pentes faibles à moyennes caractérisent surtout la surface des îlets (catégories 1.2.3),*

Les pentes moyennes (catégorie 4) correspondent aux reliefs internes aux îlets où l'unité intermédiaire est probablement présente mais sans affleurer véritablement.

Les pentes moyennes à fortes (catégorie 5) correspondent aux bordures d'îlets où l'unité intermédiaire affleure.

* cf la carte des pentes annexe 5.

Ces deux dernières familles se retrouvent dans la plupart des secteurs instables.

Les pentes fortes à très fortes (catégorie 6) correspondent aux falaises majeures (versants de vallées principales, remparts) taillées dans le substratum.

● Les formes caractéristiques de mouvements de terrain antérieur permettent de repérer des zones déjà fragilisées et à partir de là, de tenter de reconstituer les conditions particulières qui ont conduit à l'instabilité.

2.5. La végétation

Elle peut fournir deux types d'informations :

- Lorsqu'elle est présente, elle peut, par des alignements, souligner des traces de mouvements anciens masquées par le sol colluvial. De même, l'inclinaison ou même la déformation des troncs d'arbres nous renseigne sur les déplacements du sol. Ainsi, les arbres qui poussent dans le déboulé NE de Grand Ilet s.s. sont inclinés indiquant une activité lente mais permanente du mouvement.

- Son absence est tout aussi significative. En effet, dans notre secteur, compte tenu de la forte pluviosité, la croissance de la végétation est extrêmement rapide (4 ans après le déboulé du flanc est de Grand Ilet s.s. les secteurs atteints étaient entièrement revégétalisés sans intervention humaine). De ce fait, son absence ne peut être attribuée qu'à deux causes facilement distinguables :

- la première est la présence d'une surface rocheuse continue et non altérée,

- la seconde est l'action permanente de mouvement de terrain et plus particulièrement du ravinement.

2.6. La synthèse des différents facteurs

L'analyse des différents facteurs comparée aux observations et aux études réalisées pour des mouvements anciens et récents va permettre de porter un jugement sur les conditions de stabilité de l'ensemble du secteur étudié même en l'absence d'instabilité déclarée.

Les résultats de ce travail aboutissent à la réalisation d'un document graphique (carte de "risques") objectif mais aussi prospectif puisqu'il concerne des zones indemnes de mouvement à ce jour.

Nous distinguerons donc :

- les zones gravement menacées par une instabilité ou ses conséquences (C),
- les zones stables non menacées que ce soit directement ou non (A),

et enfin entre ces extrêmes :

- des zones douteuses (B). Au sein de ces dernières, lorsque ce sera possible avec une marge de sécurité suffisante, on apportera une nuance en délimitant des zones de stabilité absolue non garantie mais tout de même peu exposée (B₁).

A la Réunion, nous rencontrons une difficulté supplémentaire inhérente au climat tropical et plus précisément, aux épisodes cycloniques. En effet, l'intensité des précipitations est telle que le facteur hydrologie et hydrogéologie prend une importance considérable par rapport aux autres. Ainsi, des secteurs que l'on peut considérer comme stables en période normale, y compris pendant les cyclones "normaux", deviennent très instables lors d'épisodes du type Hyacinthe.

Il nous paraît impossible de donner un zonage qui soit fonction de ces cas extrêmes. Il est clair que cette remarque ne concerne que les zones de type B.

Nous proposons donc le schéma suivant, avec création d'une nuance Bc.

Stabilité	Zones	Sous-zones	
		Période N.	Période except.
Stable	A	-	-
Peu douteuse	B	B ₁	-
Douteuse		Bc	B ₁
Très douteuse			Bc
Instable	C		

3. Les documents réalisés

La plupart des facteurs d'instabilité ont pu être représentés cartographiquement par les documents suivants.

- carte géologique, réalisée spécifiquement pour cette étude, elle indique la nature des terrains,
- carte du réseau hydrographique, elle permet de différencier les cours d'eau en fonction de leur pouvoir érosif,
- carte des pentes, plutôt qu'une véritable carte des pentes, le document que nous avons dessiné représente les contrastes de pentes. Il est réalisé de la manière suivante : on divise le secteur étudié

tel-00679334, version 1 - 15 Mar 2012

en mailles carrées de 100 m de côté, à l'intérieur desquelles on mesure la dénivellation entre le point le plus bas et le point le plus haut puis on trace ensuite les courbes d'isovaleur. Cette méthode conduit à un lissage des courbes d'isopente d'une part et à négliger une pente donnée si elle est de faible extension d'autre part.

Les classes de dénivellation suivantes ont été retenues :

Catégorie 1 - 0 à 10 m	} pentes faibles à moyennes
Catégorie 2 - 10 à 20 m	
Catégorie 3 - 20 à 30 m	
Catégorie 4 - 30 à 60 m	} pentes moyennes
Catégorie 5 - 60 à 90 m	} pentes moyennes à fortes
Catégorie 6 - 90 m et plus	} pentes fortes à très fortes

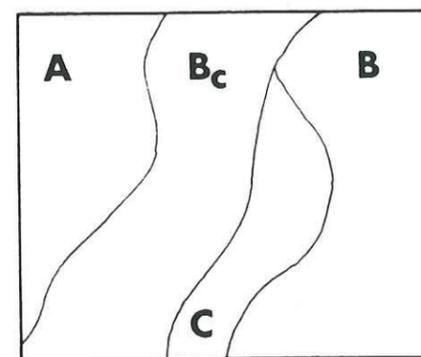
- carte des indices de mouvements

Elle regroupe l'ensemble des indices de mouvements reconnus quels que soient leurs amplitudes, leurs âges, les formations affectées ou leurs modes de mise en évidence à l'exception des phénomènes de ravinements beaucoup trop nombreux et dispersés.

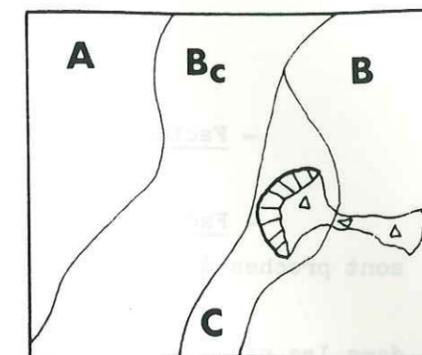
- carte de zonage

Elle permet de répartir le secteur étudié entre les zones de sensibilité aux mouvements de terrain définies à la suite de la synthèse des facteurs d'instabilité (quatrième partie 2.6).

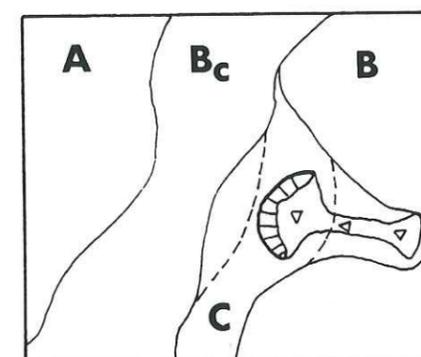
La carte de zonage ne doit pas être considérée comme un document figé mais évolutif. En effet, si ses grandes lignes ne changeront pas, les limites de zones sont susceptibles d'évoluer légèrement dans le temps, surtout à la suite de phénomènes du type Hyacinthe. Ceci est particulièrement vrai si on essaie de tracer les zones B et C au plus juste. (figure 4.1).



Limite au jour J



Apparition du mouvement



Limite au jour J + x

— Limites de zone

- - - Anciennes limites après ajustement à la suite de mouvements liés à une crise climatique exceptionnelle.

Figure 4.1. - Exemple d'évolution des limites après un mouvement.

4. Exemples d'instabilités potentielles et de processus de zonation

Flanc est de Grand Ilet dans l'axe du CD 52

Le secteur est localisé sur l'annexe 7. L'étude des différents facteurs nous permet de déterminer les conditions de stabilité.

- Facteurs "Géologie" : * le haut du versant est taillé dans l'unité intermédiaire,
- * le contact entre cette dernière et le substratum est à mi-pente.

- Facteur "structural" : Pas d'observations particulières.

- Facteur "hydrologie-hydrogéologie" : * les dépressions fermées sont proches à l'amont,

* des émergences existent dans les ravines à l'aval,

- Facteur morphologique "pente" : la pente est défavorable, catégorie 5 au sommet puis 4 dans la zone de propagation éventuelle d'un déboulé.

- Facteur morphologique "Indice de mouvement" :

* la photographie aérienne permet d'observer une amorce de niche bordant le versant,

* le ravinement est intense,

* les mouvements superficiels sont nombreux, ils ont déjà entraîné la disparition d'une épingle de la route encore dessinée sur notre fond topographique datant de 1966,

* les fissures actives montrant un décalage sont nombreuses sur la route. Certaines coïncident avec la niche potentielle mise en évidence par photo aérienne.

La convergence de ces facteurs nous conduit à classer le secteur en zone Bc. En effet, nous redoutons, lors d'un épisode cyclonique accompagné de pluies de très forte intensité, une évolution comparable au déboulé situé immédiatement au Sud, raison pour laquelle nous étendons la zone menacée vers l'aval.

C O N C L U S I O N G E N E R A L E

C O N C L U S I O N G E N E R A L E

Ce mémoire présente les résultats d'une étude géologique et mécanique portant sur les formations qui constituent les parois et le fond des cirques. Le problème initial, posé par les autorités du département de la Réunion aux ingénieurs du Service géologique régional (B.R.G.M.) était en effet de comprendre et de déterminer les causes des nombreux mouvements de terrains (aux conséquences humaines et économiques catastrophiques) qui affectent l'île, en particulier lors des épisodes cycloniques majeurs.

Compte tenu de la complexité des phénomènes, nous avons pris le parti d'étudier un secteur géographiquement limité, Grand Ilet, mais qui regroupe un échantillonnage représentatif des difficultés susceptibles d'être rencontrées dans les cirques en fait d'instabilité des versants.

Notre premier travail fut donc de lever une carte géologique détaillée à 1/10 000 adaptée à notre objectif. Pour cette raison, nous avons abandonné, au sein du substratum, bon nombre de distinctions pétrographiques ; en revanche, nous avons tenté de structurer le "fourre-tout" qu'étaient les "formations détritiques de fond de cirques".

En définitive, nous avons distingué :

- le substratum volcanique, à peu près intact,
- les formations détritiques proprement dites, stade ultime de remaniement du précédent,

- une unité intermédiaire, dont l'état se définit comme une transition entre ces deux extrêmes.

La mise en évidence de cette dernière constitue probablement une des clefs de la compréhension des mouvements actuels, mais aussi de la genèse des îlets, et par là même d'une partie de la formation des cirques.

Au départ, cette unité représente la tranche supérieure épaisse d'une centaine de mètres, du substratum, qui s'en distingue par la présence de montmorillonite d'origine hydrothermale. La base de cette tranche constitue d'abord une surface de séparation virtuelle, mais, dès qu'elle est franchie par une érosion plus profonde, se transforme en un plan de décollement général, faiblement incliné, au long duquel se déclenche un mouvement lent mais inexorable. Celui-ci entraîne un effondrement des séries volcaniques sus-jacentes, qui fournissent alors un contingent important des puissantes formations détritiques, comme, par exemple, celles de l'ensemble Mare à Martin - Bé Cabot.

Ceci étant admis, il n'est plus nécessaire d'invoquer essentiellement des phénomènes morphotectoniques pour expliquer le creusement des cirques.

La plupart des mouvements de terrains (écroulement, ravinement, etc.) résultent de mécanismes classiques, mais exacerbés par la violence et l'intensité des précipitations tropicales. Par contre, les glissements évoluant en déboulés à progression très rapide découlent d'un déterminisme géologique propre aux cirques ou pour le moins à Grand Ilet. Ils représentent l'évolution extrême et visible des mouvements lents de l'unité intermédiaire, dont la fragilité mécanique peut être imputée à la présence de montmorillonite d'origine hydrothermale.

La rupture finale est due à l'accroissement brutal de la pression interstitielle dans des matériaux mal drainés, favorisée par l'inondation des dépressions fermées de la surface des plateaux, qui permet la mise en charge des niveaux sous-jacents. Ces dépressions

témoignent, en surface, du décalage des panneaux de l'unité intermédiaire.

C'est l'ensemble des connaissances que nous avons acquises sur la géologie, hydrologie et géomorphologie de Grand Ilet qui, confronté aux données climatiques, nous permet enfin de proposer un zonage du secteur en termes de stabilité des versants.

Le zonage est établi en considérant des conditions climatiques normales, cyclones habituels y compris. Par contre, il nous a paru indispensable de prévoir une nuance très restrictive (Bc), afin de ne pas être pris au dépourvu par des phénomènes météorologiques exceptionnellement graves, tels que Hyacinthe.

Les documents établis ont, pour le moment une simple valeur de mise en garde technique mais ils pourront, ultérieurement, si les autorités compétentes le souhaitent, servir de base à l'élaboration du plan d'exposition avec risques de mouvements de terrains (P.E.R.M.T.).

Tel qu'il se présente, notre travail ne constitue qu'une étape dans l'étude des mouvements et il faut dès maintenant prévoir les phases de recherche aboutissant à la quantification des facteurs d'instabilité. Elles concernent d'une part le suivi précis des conditions hydrogéologiques, et d'autre part la réalisation d'essais permettant de définir des critères de qualité des roches concernées, du point de vue de leur comportement mécanique en présence d'eau.

A N N E X E S

- ANNEXE 1 : aperçu géotechnique
- ANNEXE 2 : résultat de l'analyse statistique des directions du réseau hydrographique des zones 3, 4, 5 et 6 du cirque de Salazie.

A N N E X E S H O R S T E X T E

- ANNEXE 3 : carte géologique
- ANNEXE 4 : carte des indices de mouvements
- ANNEXE 5 : carte des pentes
- ANNEXE 6 : carte du réseau hydrographique
- ANNEXE 7 : carte de zonage des conditions de stabilité.

ANNEXE 1

APERCU GEOTECHNIQUE

Au-delà de l'étude géologique que nous avons réalisée, il nous paraissait souhaitable d'aborder les problèmes de mouvements d'un point de vue plus géotechnique et de tenter de caractériser, physiquement et mécaniquement, les sols affectés.

Cependant, compte-tenu des moyens expérimentaux modestes dont nous disposions sur place, nous avons envisagé des essais simples réalisables sur échantillons au laboratoire. Ne pouvant pas disposer d'un grand nombre de ceux-ci, nous en avons choisi quelques uns afin de reconnaître les difficultés liées à d'éventuelles propriétés particulières que nous pourrions rencontrer à l'avenir lors de la réalisation d'un programme d'essais beaucoup plus vaste et systématique.

Le prélèvement d'échantillons intacts s'est révélé très délicat du fait des caractéristiques propres aux matériaux : fissuration, altération etc...

Ceci illustre un premier point : si à l'avenir, les essais de laboratoire ne sont pas à négliger, il sera indispensable de prévoir des essais in situ.

En définitive, nous avons disposé, au laboratoire, d'échantillons de coulées boueuses remaniés, d'une part et d'unité intermédiaire, intacts d'autre part.

La plupart ont fait l'objet d'une analyse aux rayons X. Or, on a pu constater que les matériaux de l'unité intermédiaire renferment systématiquement de la montmorillonite, par contre, les produits détritiques dérivés (produit de déboulé ou sable fin de Mare à Martin) n'en contiennent pas.

Granulométrie et sédimentométrie

* Les produits de déboulé

Le tamisage a porté sur des quantités importantes (10 à 15kg) et a été entièrement fait sous l'eau afin de disperser les éléments. Les résultats sont présentés par la figure A.1.1.

Ces courbes semblent indiquer un matériau assez homogène et l'absence de discrimination au cours du transport. Mais il ne faut pas oublier que les éléments de taille supérieure à 100 mm ont été éliminés alors que, sur le terrain, on peut trouver des blocs métriques.

On constate que les matériaux du déboulé le plus ancien (2) renferment plus de fines : (< 0,074 mm) 25,5 contre 6,5 % pour la coulée de 1980 (1).

Dans les deux cas, ces valeurs sont relativement faibles et montrent que la grande mobilité des déboulés ne peut être expliquée par la seule présence de fines.

* Produit d'altération de roche zéolitisée provenant de la rivière Azaye

Trois analyses granulométriques successives, (3,4,5), ont été effectuées. La première, qui ne présente guère d'intérêt, a porté sur le matériau tel qu'il a été prélevé sur le terrain (3), la deuxième

CLASSIFICATION

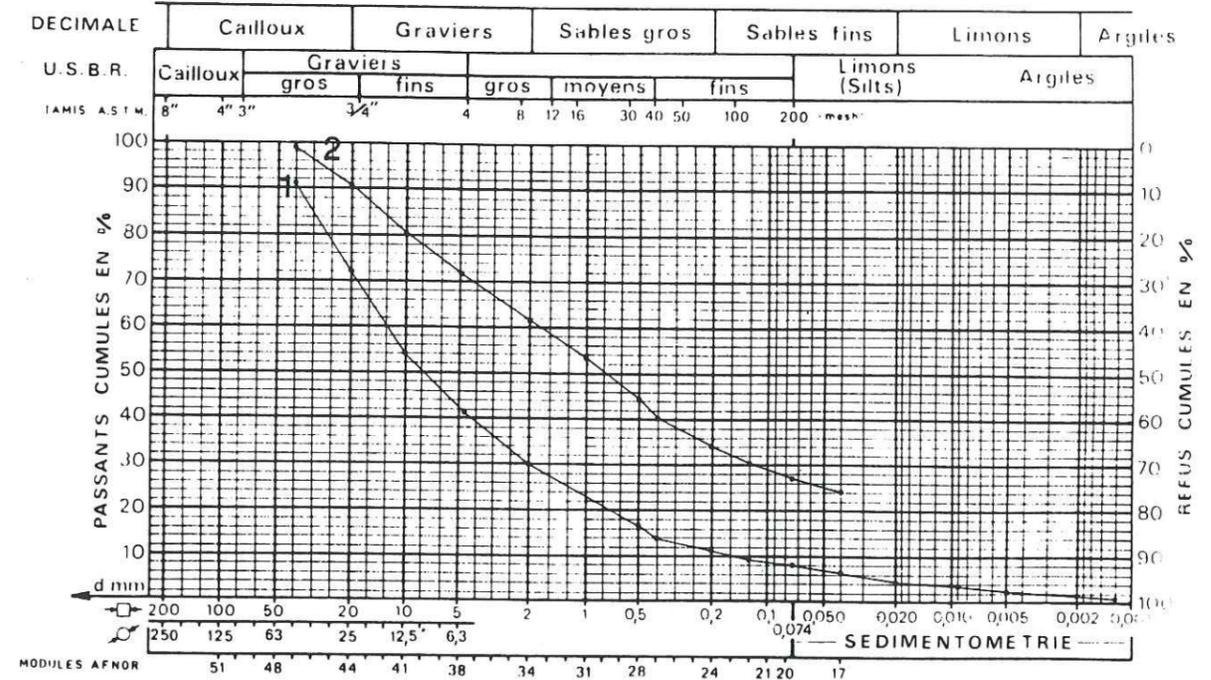


Figure A.1.1. - 1 Produit du déboulé du flanc est de Grand Ilet 1980
2 Produit d'un déboulé très ancien prélevé sur la route de Mare à Vieille place face au radier de Fleures Jaunes.

CLASSIFICATION

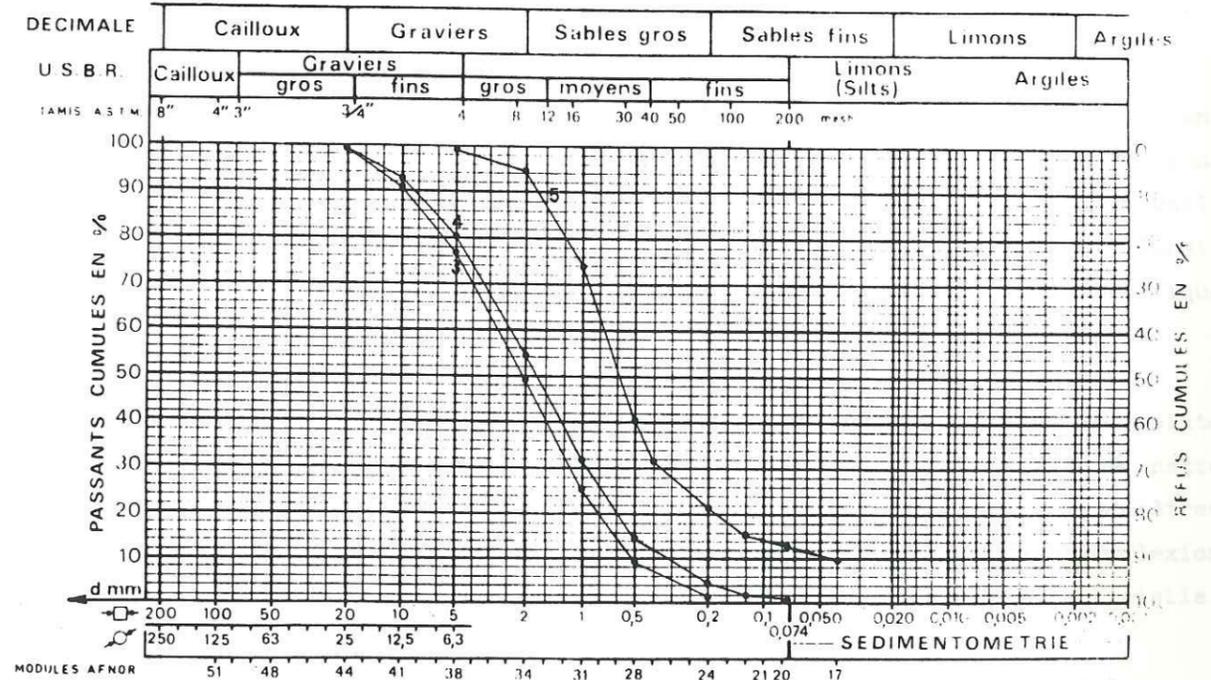


Figure A.1.2. - Produit d'altération de roche zéolitisée prélevé dans la ravine Azaye.
3 Tamisage sans étuvage
4 Tamisage sec après étuvage
5 Tamisage sous l'eau après étuvage.

et la troisième portent sur le matériau après séchage de 24 heures à l'étuve à 105° (4) mais la deuxième est réalisée à sec alors que la troisième est réalisée sous l'eau (5).

Les résultats sont présentés par les courbes granulométriques de la figure A.1.2.

Les courbes apparaissent assez mal graduées. On constate une nette différence entre les résultats du tamisage à sec et sous l'eau. Dans le premier cas, la fraction comprise entre 0,4 et 2 mm représente 40 % du total alors que dans le second, elle dépasse 60 %. Ce phénomène s'accompagne de l'apparition d'une fraction fine atteignant 12 % alors qu'elle était inférieure à 1 % dans le premier cas. Ceci est assez banal si l'on considère uniquement que le lessivage a séparé les éléments agglomérés par la fraction fine. Cependant, il faut rappeler qu'il ne s'agit pas d'un produit détritique de remaniement mais du résultat d'une altération sur place provoquée par des cycles dessiccation-humidification.

* L'analyse sédimentométrique de la fraction fine n'a pu être menée à bien que pour les produits du déboulé de 1980. En effet, pour les autres échantillons, la densité de cette fraction fine était trop forte et conduisait à des durées de décantation trop brèves. Compte-tenu de la méthode employée, il semble donc qu'une partie de la fraction fine ait une densité supérieure à 2,7.

* Détermination des limites d'Atterberg

Pour ces essais, nous avons prélevé la fraction inférieure à 400 µ du déboulé de 1980. Compte-tenu de la faible représentativité de cette fraction, il est peu probable que ses caractéristiques soient vraiment significatives du comportement de l'ensemble.

Toutefois, les difficultés rencontrées permettent de suspecter des propriétés particulières : le processus classique de détermination

des limites n'a pu être appliqué, le matériau n'étant pas suffisamment maléable pour réaliser une rainure dans la coupelle.

Nous avons tenté de pallier cet inconvénient par l'emploi du "Fall-cone". Cet appareil permet de mesurer l'enfoncement d'un cône de poids et de section connus à partir duquel on peut obtenir un équivalent des limites.

Ici encore, les résultats sont peu probants. On a tout de même pu déterminer une limite de liquidité $W_L = 26,5 \%$ pour une limite de plasticité $W_p = 15,5 \%$, soit un indice de plasticité $I_p = 11$.

Ces valeurs, reportées dans le diagramme de Casagrande, indiquent un sol à la limite entre argile et limon peu plastique.

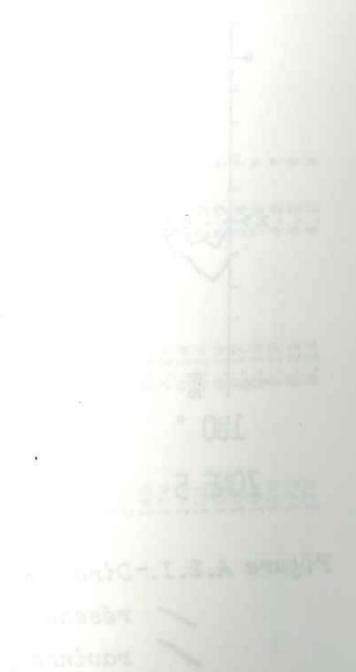
Au cours des essais, nous avons noté deux comportements assez particuliers du matériau :

* Le matériau formé en boule, à des teneurs en eau pouvant être inférieures à W_L , a tendance à s'étaler assez facilement sous l'effet de chocs répétés et modérés, appliqués au plan de travail. Malheureusement, nous n'avons pu réaliser d'essai rigoureux qui aurait permis de confirmer ou non l'existence d'un comportement spécifique au matériau.

* Au cours de l'essai "Fall-cone" il faut amener la pointe du cône au contact de la surface du matériau à tester. Lors de cette opération, si la pointe descend de quelques dixièmes de millimètres en trop, elle ne pénètre pas dans le matériau mais on observe une déflexion de la surface de celui-ci comme s'il existait une tension superficielle.

A N N E X E II

RESULTATS DE L'ANALYSE STATISTIQUE DES
DIRECTIONS DU RESEAU HYDROGRAPHIQUE DES
ZONES 3, 4, 5 et 6 DU CIRQUE DE SALAZIE



Empreinte digitale de réseau 10,1 km
Figure A.6.1.1.- Analyse des directions du réseau hydrographique des zones

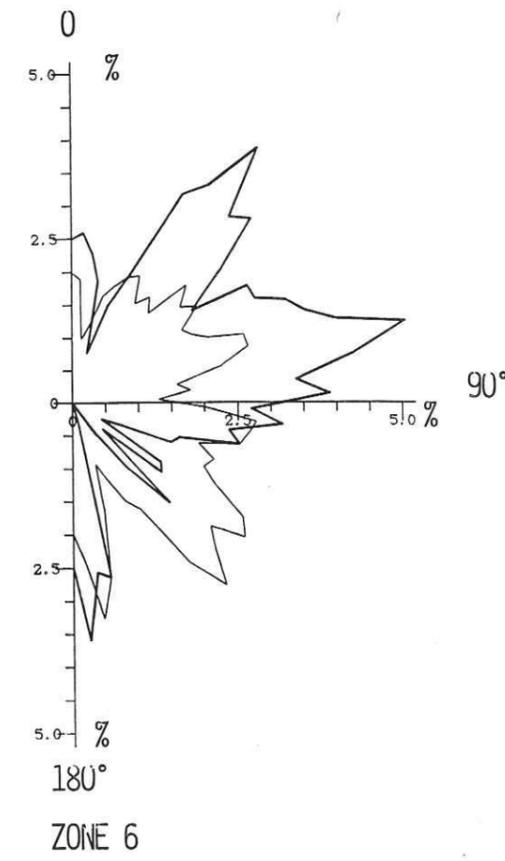
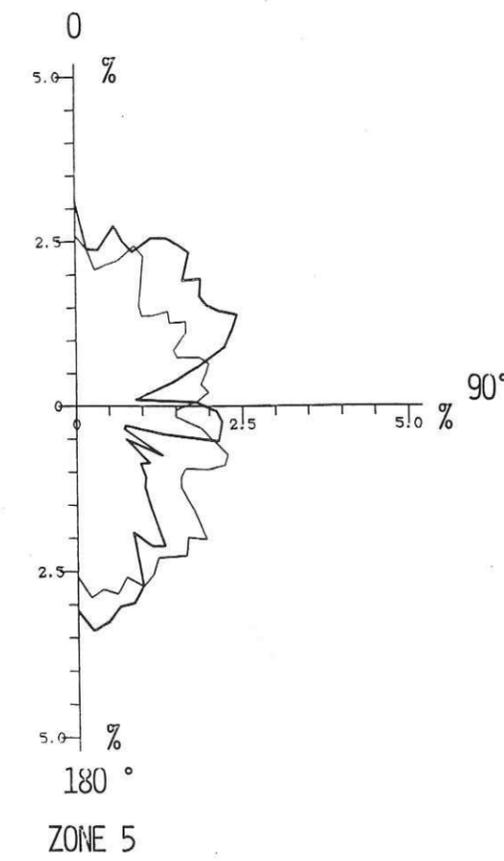
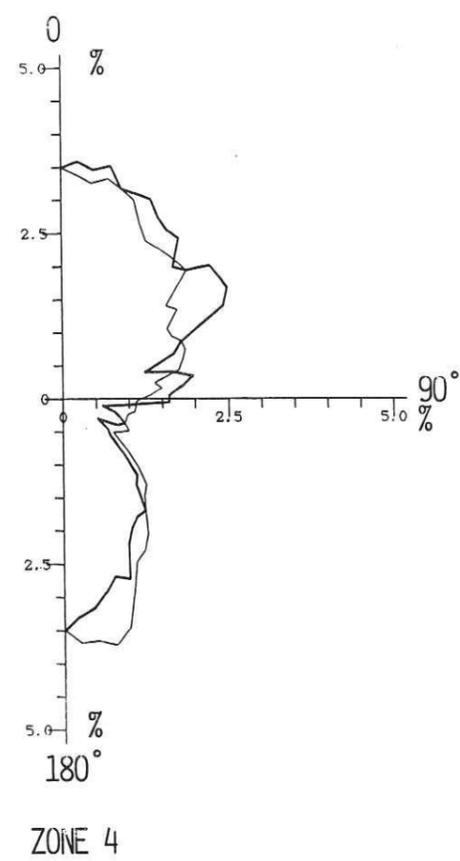
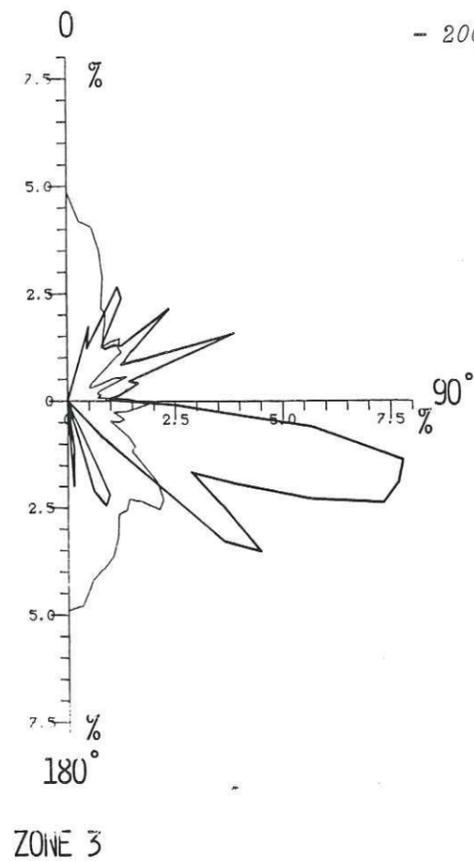
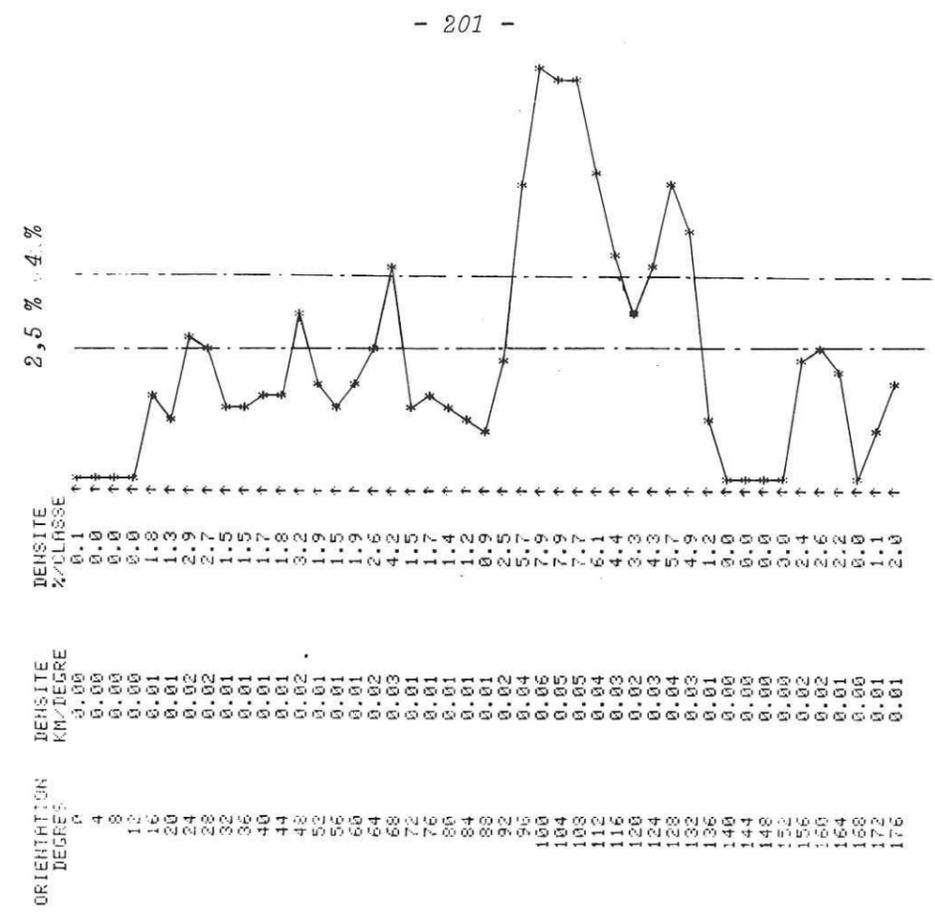


Figure A.2.1.-Direction des ravines des zones 3,4,5 et 6

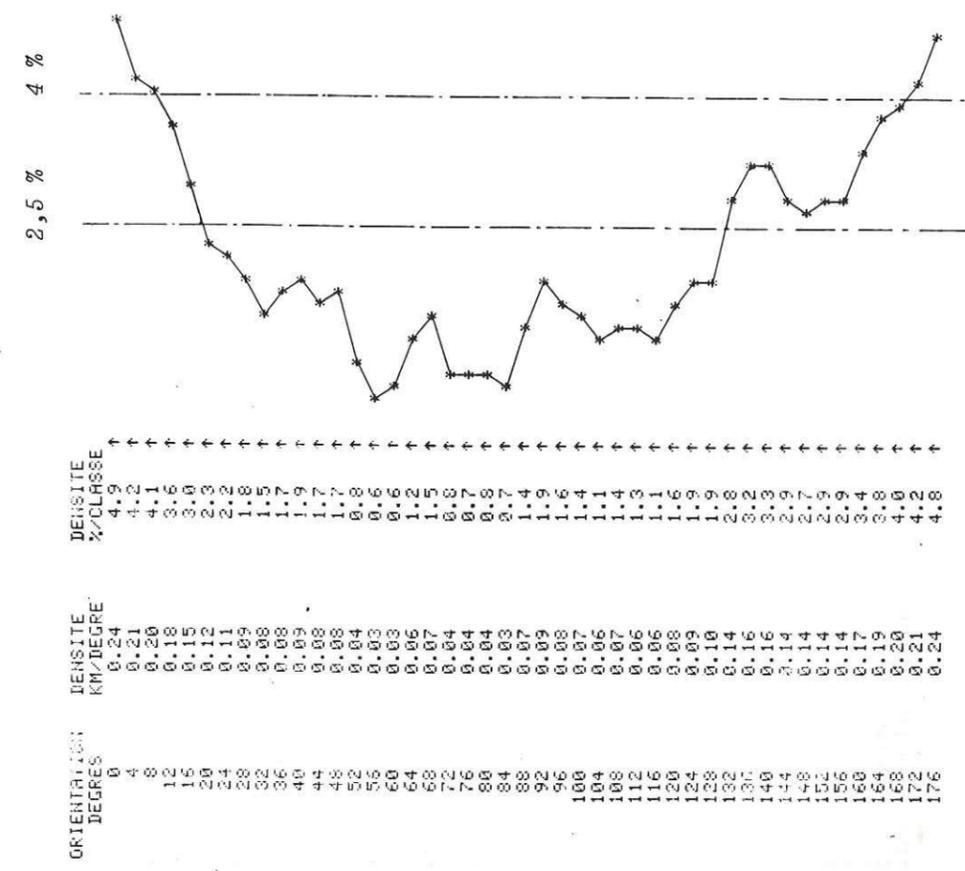
réseau total
 ravines principales

Ravines principales de la zone 3



Longueur totale de réseau 2,8 km

Réseau hydrographique total de la zone 3

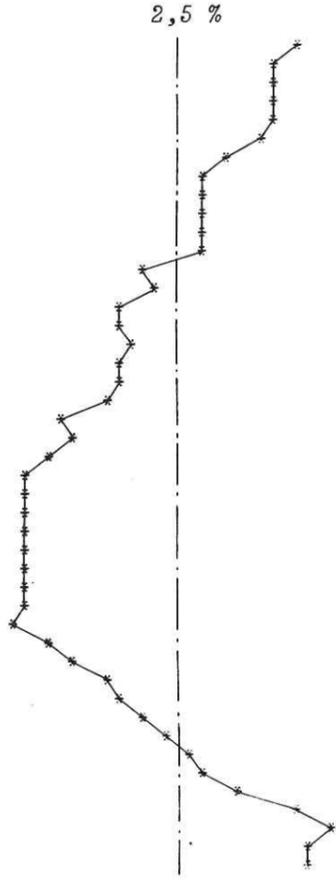


Longueur totale de réseau 19,7 km

Réseau hydrographique total de la zone 4

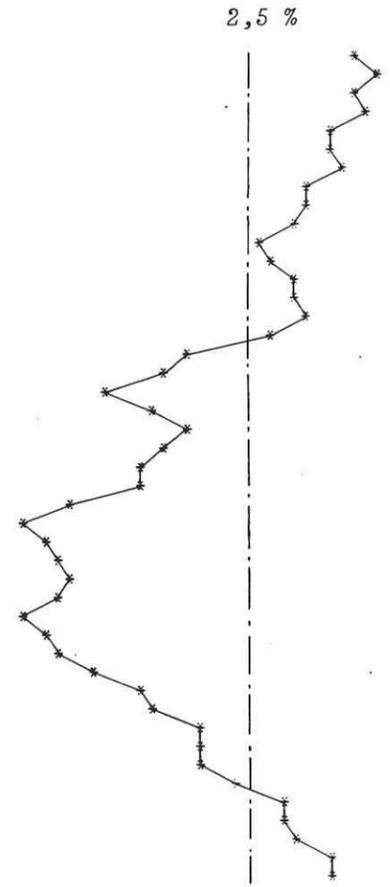
Ravines principales de la zone 4

ORIENTATION DEGRES	DENSITE KM/DEGRE	DENSITE %/CLASSE	
0	0.71	3.5	↑
4	0.68	3.4	↑
8	0.67	3.3	↑
12	0.69	3.4	↑
16	0.67	3.3	↑
20	0.65	3.2	↑
24	0.58	2.9	↑
28	0.55	2.7	↑
32	0.54	2.7	↑
36	0.55	2.7	↑
40	0.54	2.7	↑
44	0.55	2.7	↑
48	0.43	2.1	↑
52	0.45	2.2	↑
56	0.38	1.9	↑
60	0.38	1.9	↑
64	0.40	2.0	↑
68	0.40	2.0	↑
72	0.38	1.9	↑
76	0.36	1.8	↑
80	0.28	1.4	↑
84	0.31	1.5	↑
88	0.26	1.3	↑
92	0.22	1.1	↑
96	0.21	1.1	↑
100	0.22	1.1	↑
104	0.21	1.0	↑
108	0.21	1.0	↑
112	0.20	1.0	↑
116	0.22	1.1	↑
120	0.21	1.0	↑
124	0.19	0.9	↑
128	0.24	1.2	↑
132	0.29	1.5	↑
136	0.37	1.8	↑
140	0.39	1.9	↑
144	0.43	2.1	↑
148	0.49	2.4	↑
152	0.53	2.6	↑
156	0.55	2.7	↑
160	0.62	3.1	↑
164	0.73	3.6	↑
168	0.78	3.8	↑
172	0.74	3.7	↑
176	0.74	3.7	↑



Longueur totale de réseau 80,7 km

ORIENTATION DEGRES	DENSITE KM/DEGRE	DENSITE %/CLASSE	
0	0.26	0.5	↑
4	0.27	0.6	↑
8	0.26	0.5	↑
12	0.27	0.6	↑
16	0.25	0.5	↑
20	0.25	0.5	↑
24	0.25	0.5	↑
28	0.23	0.4	↑
32	0.23	0.4	↑
36	0.22	0.4	↑
40	0.20	0.3	↑
44	0.21	0.4	↑
48	0.22	0.4	↑
52	0.22	0.4	↑
56	0.23	0.4	↑
60	0.21	0.3	↑
64	0.15	0.2	↑
68	0.13	0.1	↑
72	0.09	0.1	↑
76	0.13	0.1	↑
80	0.15	0.2	↑
84	0.14	0.1	↑
88	0.12	0.1	↑
92	0.12	0.1	↑
96	0.07	0.1	↑
100	0.05	0.0	↑
104	0.06	0.0	↑
108	0.07	0.1	↑
112	0.07	0.1	↑
116	0.07	0.1	↑
120	0.04	0.0	↑
124	0.06	0.0	↑
128	0.07	0.1	↑
132	0.09	0.1	↑
136	0.12	0.1	↑
140	0.13	0.1	↑
144	0.16	0.2	↑
148	0.16	0.2	↑
152	0.16	0.2	↑
156	0.18	0.2	↑
160	0.21	0.3	↑
164	0.21	0.3	↑
168	0.22	0.3	↑
172	0.24	0.3	↑
176	0.24	0.3	↑



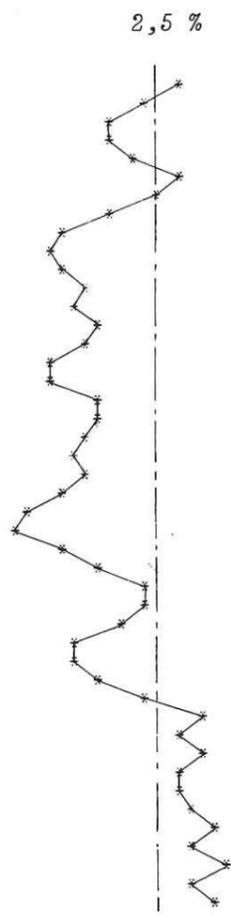
Longueur totale de réseau 30,0 km

Planche A.2.2. - Analyse des directions du réseau hydrographique de la zone 4

Réseau hydrographique total de la zone 5

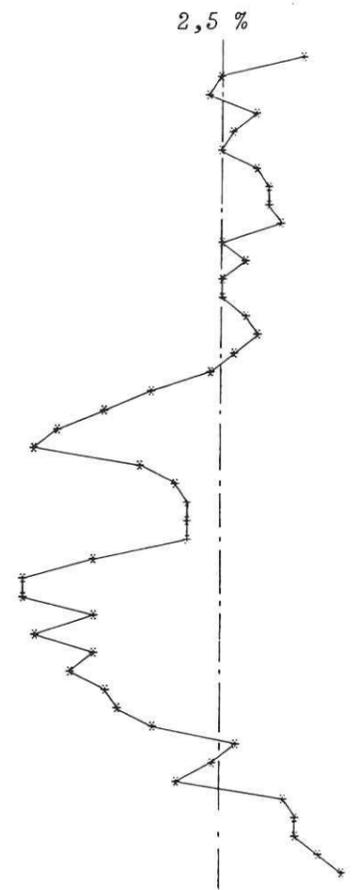
Ravines principales de la zone 5

ORIENTATION DEGRES	DENSITE KM/DEGRE	DENSITE %/CLASSE	
0	0.30	2.0	↑
4	0.27	2.4	↑
8	0.24	2.1	↑
12	0.25	2.2	↑
16	0.26	2.3	↑
20	0.30	2.6	↑
24	0.28	2.5	↑
28	0.24	2.1	↑
32	0.20	1.8	↑
36	0.19	1.7	↑
40	0.21	1.8	↑
44	0.22	2.0	↑
48	0.21	1.9	↑
52	0.23	2.1	↑
56	0.22	2.0	↑
60	0.19	1.7	↑
64	0.19	1.7	↑
68	0.23	2.0	↑
72	0.23	2.1	↑
76	0.22	2.0	↑
80	0.21	1.9	↑
84	0.22	2.0	↑
88	0.20	1.8	↑
92	0.17	1.5	↑
96	0.17	1.5	↑
100	0.21	1.9	↑
104	0.24	2.1	↑
108	0.27	2.4	↑
112	0.27	2.4	↑
116	0.25	2.2	↑
120	0.22	1.9	↑
124	0.21	1.9	↑
128	0.23	2.0	↑
132	0.28	2.4	↑
136	0.32	2.8	↑
140	0.30	2.6	↑
144	0.32	2.8	↑
148	0.30	2.7	↑
152	0.30	2.7	↑
156	0.31	2.8	↑
160	0.33	2.9	↑
164	0.31	2.7	↑
168	0.33	2.9	↑
172	0.31	2.8	↑
176	0.32	2.9	↑



Longueur totale de réseau 45,2 km

ORIENTATION DEGRES	DENSITE KM/DEGRE	DENSITE %/CLASSE	
0	0.16	3.1	↑
4	0.13	2.4	↑
8	0.13	2.4	↑
12	0.15	2.8	↑
16	0.13	2.6	↑
20	0.13	2.5	↑
24	0.15	2.8	↑
28	0.15	2.9	↑
32	0.15	2.9	↑
36	0.15	2.9	↑
40	0.13	2.5	↑
44	0.14	2.7	↑
48	0.13	2.5	↑
52	0.13	2.5	↑
56	0.14	2.6	↑
60	0.15	2.8	↑
64	0.13	2.6	↑
68	0.13	2.4	↑
72	0.10	1.9	↑
76	0.08	1.5	↑
80	0.06	1.1	↑
84	0.05	0.9	↑
88	0.09	1.8	↑
92	0.11	2.1	↑
96	0.11	2.2	↑
100	0.12	2.2	↑
104	0.11	2.2	↑
108	0.07	1.4	↑
112	0.04	0.8	↑
116	0.04	0.8	↑
120	0.08	1.5	↑
124	0.05	0.9	↑
128	0.07	1.4	↑
132	0.07	1.3	↑
136	0.08	1.5	↑
140	0.08	1.6	↑
144	0.10	1.9	↑
148	0.13	2.5	↑
152	0.13	2.4	↑
156	0.11	2.1	↑
160	0.15	2.9	↑
164	0.16	3.1	↑
168	0.16	3.1	↑
172	0.17	3.3	↑
176	0.18	3.4	↑



Longueur totale de réseau 21,0 km

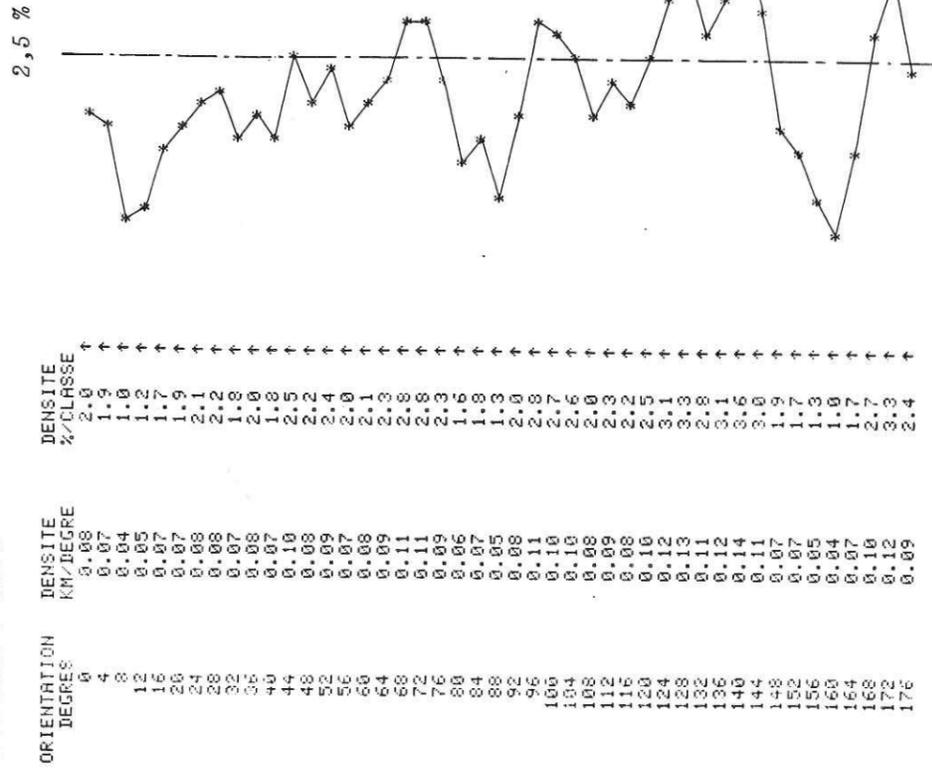
Planche A.2.3. - Analyse des directions du réseau hydrographique de la zone 5

tel-00679334, version 1 - 15 Mar 2012

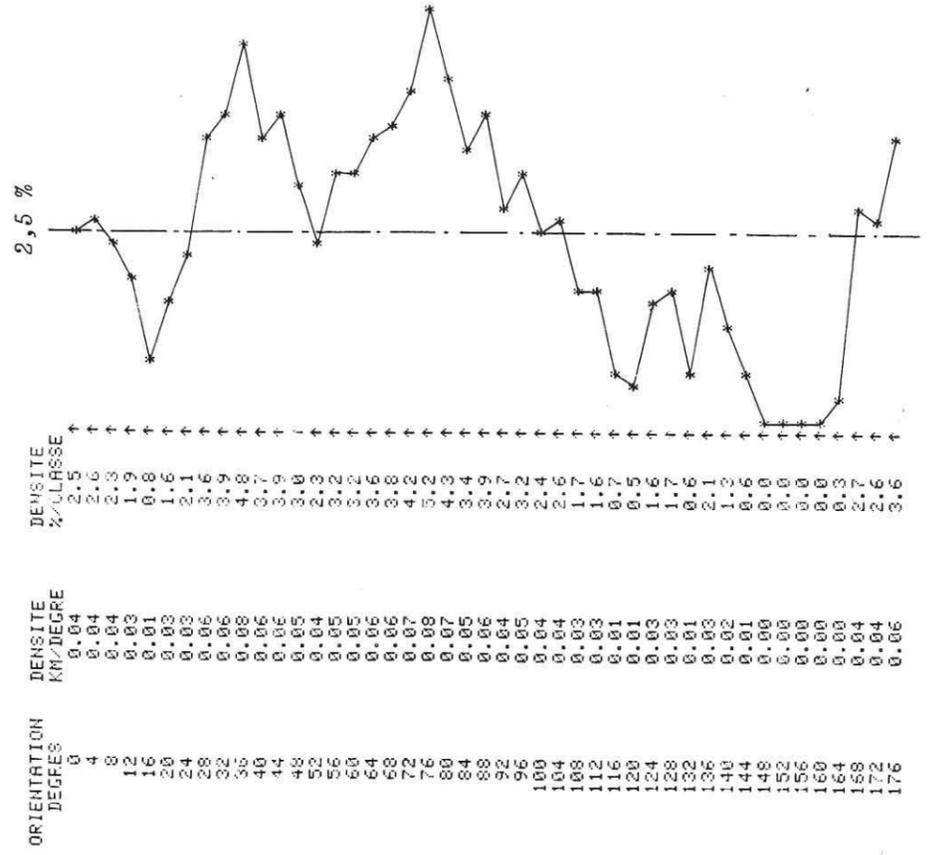
Réseau hydrographique total de la zone 6

Ravines principales de la zone 6

>>>FIGURE 1-ZONE 6



Longueur totale de réseau 15,2 km



Longueur totale de réseau 6,3 km

Planche A.2.4. - Analyse des directions du réseau hydrographique de la zone 6

BIBLIOGRAPHIE

B I B L I O G R A P H I E

- A.I.G.I., (1976), *Guide pour la préparation des cartes géotechniques*. Les Presses de l'Unesco.
- ALBUM DE L'ILE DE LA REUNION, (1860-65), Saint-Denis (Ile de la Réunion). Impr. A. Roussin. 4 vol.
- ANTOINE P., FABRE D., (1981), *Géologie appliquée au Génie Civil*. Masson. 291 pages.
- AUBERT DE LA RUE E., (1931), *Une excursion géologique à la Réunion et à l'île Maurice*. Rev. géogr. phys. géol. dyn. vol. 4, n°3. P 201-221.
- BILLARD G., (1974), *Carte géologique de la France : la Réunion, échelle 1/50 000, en quatre feuilles*. Paris. BRGM.
- BOMBARD J.-P. (1968), *Une approche des problèmes posés par l'étude des mouvements de terrain. Essai méthodologique*. Thèse de 3e Cycle, USMG.
- BRGM - GEG, (1979), *Le fichier d'information sur les mouvements de terrain en France et ses applications*. Rapport BRGM 79 SGN 360 GEG.
- BUISSIERE P., (1967), *Carte géologique du département de la Réunion à l'échelle 1/100 000*. Paris: Service de la carte géologique de la France.
- CALICHIAMA C., GRUCHET J., (1983), *Inventaire des mouvements de terrains à la Réunion depuis 1718 d'après les recherches d'archives*. BRGM - SGR Réunion. Rapport 83 REU 20.
- CHEVALLIER L., (1979), *Structures et évolution du volcan Piton des Neiges, île de la Réunion. Leurs relations avec les structures du bassin des Mascareignes, océan Indien occidental*. Thèse de 3e Cycle, Grenoble.
- CHEVALLIER L. VATIN-PERIGNON N., (1982), *Volcano-structural evolution of Piton des Neiges, Reunion Island, Indian Ocean*. Bull. Volc. vol. 54-4.
- CORDEMOY J. de, (1876), *Rapport de la Commission chargée d'étudier les causes de la catastrophe du Grand Sable à Salazie*.
- COSTET J. SANGLERAT G., (1969), *Cours pratique de Mécanique des Sols*. Dunod. 599 pages.
- DE ALBA E. SESANA P., (1978), *The influence of expansive minerals on basalt behaviour*. C.R. IIIe Congrès AIGI. Madrid. Sección II. Vol. 1.
- D.D.A., (1980), *Esquisse hydrométéorologique des effets du cyclone Hyacinthe sur le département*. Note du Service de l'aménagement hydraulique de la D.D.A. de la Réunion.
- DEPOS DU RAU J., - (1956), *Un cirque des Hauts de la Réunion : Cilaos*. Les Cahiers d'Outre-Mer, juillet-septembre 1956, p 263-313.
- (1956), *Un cirque des Hauts de la Réunion : Cilaos*. Les cahiers d'Outre-Mer. Juillet-septembre. P 263-313.
- (1960), *Notes sur la morphologie volcanique à la Réunion (Comm. Congrès PIOSA. Tananarive, oct. 1957)*. Mémoires I.R.S.T. Tananarive, série D, tome IX.

DESVARREUX P., (1970), Recherche d'une méthode d'étude des mouvements de terrain et applications pratiques. Thèse Docteur-Ingénieur, USMG.

DURET M., (1982), Pluies génératrices de crues à la Réunion. Rapport cellule eau et assainissement. DDE de la Réunion.

GERARD A., STIELTJES L., (1979), Evaluation du potentiel géothermique de l'île de la Réunion. 2e phase exploratoire : géologie et géophysique. Orléans : BRGM. Rapport 79 SGN 538 GTH.

GOGUEL J., (1984), Le rôle des éboulements dans la morphologie de l'île de la Réunion (Colloque sur les mouvements de terrain des 22 et 23 mars 1984. Université de Caen.

HERMELIN M., HOYOS F., GUTIERREZ A., ZUTAVAGA J., (1983), Caractéristiques physico-mécaniques de sols d'altération et de dépôts de coulées boueuses provenant de diverses roches métamorphiques et éruptives de la cordillère centrale, en Colombie. Problème de genèse. Bull. AIGI, n°28. P 129-132.

HOEK E., BRAY J.W. (1981), Rock slope engineering, 3e Ed. Institution of mining and metallurgy. London.

HUMBERT M., (1982), Analyse et interprétation des facteurs géologiques régionaux et délimitation des zones exposées à des mouvements de masse. Application au département de la Drôme.

HUMBERT M., (1975), Etablissement des cartes de localisation probable des zones exposées à des mouvements du sol. Rapport 75 SGN 127 AME.

HUMBERT M., PASQUET R., STIELTJES L., (1981), Les risques géologiques dans les cirques de Salazie et de Cilaos (île de la Réunion). Rapport BRGM 81 SGN 543 REU. 101 pages.

JEAN M., (1929-30), Le cataclysme de la Rivière de l'Est (Bull. Académie Réunion. Pp 1-4 .

LETOURNEUR J., (1971), Quelques applications de l'hydrogéologie dans le domaine du Génie Civil. T.L.G. Ecole des Mines de Saint Etienne. N°1. 41 pages.

MAC DOUGALL I., (1971), The geochronology and evolution of the young volcanic island of Reunion, Indian ocean. Geochim. Cosmochim. Acta. Vol. 34, n°3. P 261-288.

MAC DOUGALL I., WATKINS N.C., (1971), Age and duration of the Reunion geomagnetic polarity event. Earth Planet Sci. Letters. Vol. 19. P 443-452.

MALATRAIT A.-M. (1975), Analyse et classement des mouvements gravitaires (feuille St-Jean-de-Maurienne au 1/50 000). Thèse de 3e Cycle, USMG.

MOUGIN J.-P. (1973), Les mouvements de terrain. Recherche sur les apports mutuels des études géologiques et mécaniques à l'estimation de la stabilité des pentes. Thèse Docteur-Ingénieur, USMG.

RANCON J.-P. (1982), Contribution à l'étude des minéralisations hydrothermales liées à un système géothermique récent dans l'île de la Réunion. Tèse de 3e Cycle. Orsau.

RIVALS P., (1950), Histoire géologique de l'île de la Réunion. Thèse complémentaire. Paris. 145 pages.

ROBERT D., (1980), Inventaire et analyse systématique des différents ensembles d'intrusions volcaniques (dykes et sills) de l'île de la Réunion : répartition, nature, extension et chronologie relative. Orléans : BRGM. Rapports 80 SGN 532 GTH et 80 REU 17.

ROBERTS J.L., (1979), Réflexions sur les risques naturels. Nat. Ressources. Vol. 15, n°4. P 25-31.

SAMALIKOVA M., (1983), Exemples d'argiles d'altération de roches cristallines étudiées au microscope électronique à balayage. Bull AIGI. N°23. P 91-102.

STIELTJES L., (1981), Aspects techniques et socio-économiques des conséquences de l'érosion accélérée des terrains volcaniques de l'île de la Réunion (océan indien). In : Séminaire national "Gestion générale des sédiments" Propriano (Corse) 27-29 mai 81. Orléans : BRGM (Documents n°30).

STIELTJES L., ROBERT D., (1981), Analyse structurale de l'île de la Réunion. Implications morphologique, géologique et géothermique. Synthèse sur l'évaluation du potentiel géothermique de l'île de la Réunion. BRGM (Rapport 1981).

STIELTJES L., (1981), Les risques naturels du sol et du sous-sol dans l'île de la Réunion. Etablissement de cartes de zonage des risques pour l'aménagement des Hauts et des zones côtières.

UPTON G.B.J., WADSWORTH W.J., (1965), Geology of Reunion Island, Indian ocean. Nature. Vol. 207, n°4993. P 151-154.

(1966), The basalts of Reunion Island, Indian ocean. Bull. Vol. 29. P 7-24.

(1972), Aspects of magmatic evolution on Reunion Island. Phil. Trans. Roy. Soc. London, A 271. P 105-130.

VIALON P., RUHLAND M., GROLIER J., (1976), Eléments de tectonique analytique. Masson. 118 pages.

T A B L E D E S M A T I E R E S

TABLE DES MATIERES

	Pages
AVANT-PROPOS.....	3
SOMMAIRE.....	5
INTRODUCTION.....	7
PREMIERE PARTIE.....	9
I. CADRE GENERAL DE L'ETUDE.....	11
1. Situation géographique.....	11
2. Grands traits du relief.....	14
3. Le cadre climatique.....	14
II. PRESENTATION DE GRAND ILET ET DES PROBLEMES DE MOUVEMENTS DE TERRAIN.....	15
1. Localisation géographique et définition.....	15
2. Occupation des sols et développement.....	16
3. Evolution récente des menaces d'instabilité.....	20
4. Nécessité de la prévention.....	22
III. CYCLONES ET DONNEES HYDROMETEOROLOGIQUES.....	22
1. Définition.....	22
2. Trajectoire et durée.....	23
3. Esquisses hydrométéorologiques des effets du cyclone Hyacinthe.....	24
3.1. Les précipitations.....	24
3.2. Les débits de crues.....	26
4. Remarques et commentaires.....	28
IV. LES ELEMENTS GEOLOGIQUES.....	29
1. Le contexte géologique du Piton des Neiges.....	29
1.1. La "série" des océanites.....	29
1.1.1. Les océanites anciennes (phase I de BILLARD).....	30
1.1.2. Les océanites récentes (phase II de BILLARD).....	30
1.2. La série différenciée.....	34
1.2.1. Les laves différenciées anté-caldera II (350 000 à 70 000 ans).....	35
1.2.2. Les laves différenciées post-caldera II (70 000 à 22 000 ans).....	36
2. Les phénomènes d'hydrothermalisation.....	37
2.1. La zéolitisation.....	37
2.2. Les principales phases d'hydrothermalisation. Relations avec les structures.....	41
2.2.1. Phase 1 : hydrothermalisation des océanites anciennes.....	41
2.2.2. Phase 2 : hydrothermalisation des océanites récentes.....	41
2.2.3. Phase 3 : hydrothermalisation de la série différenciée.....	42
2.2.4. Conclusion.....	42
2.3. La montmorillonite.....	43
2.3.1. Le site du barrage de Salto Grande en Uruguay.....	43
2.3.2. Le cas de Grand Ilet.....	44
3. Eléments de géologie structurale.....	45
3.1. Principaux éléments structuraux et directions associées.....	45
3.2. Conclusion.....	48

V. ETUDE STATISTIQUE DES DIRECTIONS DE RAVINES DU CIRQUE DE SALAZIE..... 49

1. La méthode..... 49

1.1. Description et choix des documents analysés..... 49

1.2. Présentation des résultats..... 49

1.3. Remarques préliminaires..... 51

2. Interprétation..... 58

2.1. Généralités..... 58

2.2. Réseau hydrographique de l'ensemble du cirque de Salazie..... 58

2.2.1. La totalité des ravines..... 58

2.2.2. Les ravines principales..... 59

2.3. La zone 1..... 59

2.3.1. La totalité des ravines..... 59

2.3.2. Les ravines principales..... 59

2.4. La zone 2..... 60

2.4.1. La totalité des ravines..... 60

2.4.2. Les ravines principales..... 61

3. Analyse structurale et étude statistique des directions de ravines.
Corrélation possible et interprétation..... 61

3.1. Remarques préliminaires..... 61

3.2. Corrélations pour l'ensemble du réseau hydrographique du
cirque de Salazie..... 63

3.3. Corrélations pour la zone 1..... 64

3.4. Corrélations pour la zone 2..... 64

4. Conclusion..... 65

DEUXIEME PARTIE LES DONNEES GEOLOGIQUES..... 67

1. GENERALITES..... 69

1.1. Problèmes de cartographie..... 69

1.2. La série géologique de départ..... 69

2. LES GRANDS ENSEMBLES GEOLOGIQUES..... 70

2.1. Le substratum volcanique..... 70

2.2. L'unité intermédiaire..... 75

2.2.1. Nécessité de distinguer une unité intermédiaire..... 75

2.2.2. Description des localités-types..... 76

2.2.3. L'unité intermédiaire : un héritage de mouvements
gravitaires de grande ampleur..... 85

2.2.4. Origine de la discontinuité et apparition des mouvements..... 99

2.3. Les formations détritiques..... 103

2.3.1. Généralités..... 103

2.3.2. Les principaux types de formations détritiques..... 104

2.3.2.1. Formations dont le processus générateur est manifeste..... 104

2.3.2.2. Sites de dépôt - processus générateurs interprétés..... 109

2.3.2.3. Zones d'alimentation et de dépôts transformées..... 114

2.3.2.4. Les détritiques de surface..... 126

2.3.3. Conclusion à propos des formations détritiques..... 126

3. CONCLUSION..... 127

TROISIEME PARTIE LES MOUVEMENTS DE TERRAIN..... 131

1. GENERALITES..... 133

1.1. Introduction..... 133

1.2. Localisation géographique..... 133

2. LES CAUSES MAJEURES DE RUPTURE DES VERSANTS NATURELS..... 135

2.1. Rôle de l'eau..... 135

2.1.1. L'eau superficielle - Les effets érosifs..... 136

2.1.2. L'eau souterraine - Quelques caractères spécifiques des
aquifères du secteur..... 136

2.2. Quelques autres causes de mobilisation de versants..... 138

3. LES MOUVEMENTS DE TERRAIN..... 139

3.1. Les mouvements liés à des discontinuités structurales..... 140

3.1.1. Les discontinuités soulignées par des intrusions..... 140

3.1.2. Les discontinuités dépourvues d'intrusions..... 144

3.2. Les mouvements composites évolués..... 147

3.2.1. Le déboulé du flanc est de Grand Ilet s.s..... 147

3.2.2. Le déboulé nord-est de Grand Ilet s.s..... 153

3.2.3. Le déboulé sud de Grand Ilet s.s..... 158

3.2.4. Remarques générales sur les trois accidents..... 160

3.3. Les mouvements de grande envergure..... 161

3.4. Les glissements mineurs..... 166

3.5. Conclusion..... 168

QUATRIEME PARTIE LA STABILITE DES TERRAINS DANS LE SECTEUR DE GRAND ILET 171

1. RAPPEL SUR LA NOTION DE "RISQUES NATURELS" - PRINCIPES ET USAGES DE LEUR
CARTOGRAPHIE..... 173

2. LES FACTEURS PRIS EN COMPTE..... 174

2.1. La nature des terrains..... 174

2.2. Les données structurales..... 175

2.3. Hydrogéologie et hydrologie..... 176

2.4. La morphologie..... 178

2.5. La végétation..... 179

2.6. La synthèse des différents facteurs..... 180

3. LES DOCUMENTS REALISES..... 181

4. EXEMPLES D'INSTABILITES POTENTIELLES ET DE PROCESSUS DE ZONATION..... 183

CONCLUSION GENERALE..... 185

ANNEXES..... 191

Annexe 1 Aperçu géotechnique..... 193

Annexe 2 Résultat de l'analyse statistique des directions du réseau hydrographique
des zones 3, 4, 5 et 6 du cirque de Salazie..... 199

BIBLIOGRAPHIE..... 205

TABLE DES MATIERES..... 211

tel-00679334, version 1 - 15 Mar 2012

ERRATA

Pages	Lignes		au lieu de		lire
3			les discussions que nous avons eues		que nous avons eues
7			Secrétariat au DOM TOM		Secrétariat aux DOM TOM
37	4e §		d'avantage		davantage
41	2.2.2.		reconstitution au toit		reconstitution au toit
43	2.3.		La monmorillonite		La montmorillonite
48	2(bas)		aux mesures		des mesures
51	12		figure 1.14		figure 1.17
	3(bas)		correspond		correspondent
55.56.57			figures 1.17/1.19/1.21		ravines principales réseau total
62	7		significative		significatives
65	2(bas)		dessine		dessinent
71	11		soit		soient
72	6		verticabilité		verticalité
73	2		vraisemblable		vraisemblable
81	figure 2.5-a		photo 4		photo 3
	figure 2.5-b		photo 3		photo 4
84	figure 2.9		Le N est horizontal dirigé vers la droite		
87	7		coupes géologiques des planches I à V		coupes géologiques 1 à 12 (cf. pages 88 à 92)
97	1		coupe		coupes
	figure 2.14		la ravine Mathurin		la ravine Mathurin (Mth)
98	bas		figure 2.1		figure 2.14
100	2		influencés, eux,		influencées, elles,
101	19		(annexe 4)		(annexe 4 et photos 6 et 7)
	25		actions		action
103	5(bas)		contemporain		contemporains
106	12		étalé		étalés
108	19		feuille		feuilles
111	4		masse		mare
	31		elle montre :		elle montre de haut en bas :
112	3		discontinué		continuité
114	2.3.2.3.		Zones d'alimentations et de dépôts transformées		Zones d'alimentation et de dépôt transformées
115	21		matériaux		matériau
	22		dessiccation		dessiccation
118	12		frustre		fruste
119	figure 2.29		trouve		trouvent
120	7(bas)		encroûtée		encroûtées
136	9		comportant		important
	16		concentrations		concentration
140	2		(simples et "théoriques")		simples et "théoriques"
144	1(bas)		subverticale		subvertical
145	2		ébouli		éboulis
	3(bas)		"		"
149	figure 3.7		Schéma numérotés de I à VI de haut en bas et de gauche à droite		
150	6(bas)		délais		délaï
161	3(bas)		écroulé		écroulée
	5(bas)		ngs		gs
173	11(bas)		occurrence		occurrence
174	13		existant		existants
175	8(bas)		coupées		occupées
	5(bas)		facilement distinguable		parfaitement distinctes
189	5		stabilité des versants		stabilité
	14		avec		aux
194	12		discrimination		ségrégation
196	15		dessiccation		dessiccation
197	2		malléable		malléable
208	3(bas)		ressources		ressources
214	4(bas)		dépôts		dépôt
215	5(bas)		géotechnique		géotechnique

THESE de 3^e Cycle
GÉOLOGIE APPLIQUÉE

Titre de l'ouvrage :

**ÉTUDE GÉOLOGIQUE DES FORMATIONS SUPERFICIELLES
ET DU PROCHE SUBSTRATUM A GRAND ILET
(CIRQUE DE SALAZIE - LA RÉUNION)**

APPLICATION A LA CARTOGRAPHIE DU RISQUE
DE MOUVEMENTS DE VERSANTS

Nom de l'auteur : Hervé PINCHINOT

établissement : Institut de Recherches Interdisciplinaires de
Géologie et de Mécanique

RÉSUMÉ

A la suite des dégâts occasionnés par le cyclone Hyacinthe, le B.R.G.M. Réunion et l'équipe de géologie appliquée de l'I.R.I.G.M. (Université de Grenoble) ont entrepris l'étude des risques du secteur de Grand Ilet.

Cette étude comporte plusieurs parties :

La première est une présentation générale du secteur de travail dans le contexte géographique et géologique de l'île de la Réunion. Les raisons du choix de Grand Ilet y sont exposées. En dernier lieu, les résultats d'une analyse statistique systématique des directions de ravines sont présentés.

La deuxième partie est l'étude géologique détaillée des formations de Grand Ilet. Elle conduit à la définition de l'unité intermédiaire qui est caractérisée par des glissements de grande ampleur.

La troisième partie concerne des mouvements de terrains plus superficiels mais qui sont responsables de dégâts importants. On insiste sur le rôle des précipitations cycloniques dans leur évolution.

Enfin, la quatrième partie tente de faire un bilan des conditions d'instabilité et permet de proposer un zonage du secteur adapté au contexte volcano-détritique et au climat tropical.

MOTS-CLEFS

Ile de la Réunion - Cirque - Grand Ilet - Terrains volcaniques - Océanites - Intrusions - Hydrothermalisation - Montmorillonite - Formations détritiques - Cyclone - Lave boueuse - Ravinement - Glissement de terrain - Infiltration - Pressions interstitielles - Risques naturels - Photo-interprétation.

CARTE GEOLOGIQUE

Echelle: 1/10 000

0 0,1 0,2 0,3 0,4 0,5 km.

26 OCT. 1984

Légende:

UNIVERSITE DE GRENOBLE
 INSTITUT DE GEOLOGIE
 DOCUMENTATION
 RUE MAURICE GIGNOUX
 F 38031 GRENOBLE CEDEX
 TEL. (76) 87.46.43

A	Alluvions récentes
Ac	Alluvions anciennes
az	Dépôts anciens de la ravine Azaye
Bdf	Brèche détritique peu indurée formant les évaselements de crête du flanc est de Grand Ilet s.s. Grain assez homogène croissant vers le haut.
BMC	Ensemble détritique de Mare à Martin - Bé Cabot. Eléments centimétriques à métriques.
BMC ₁	Débordement de l'ensemble détritique BMC formant la rive droite de la ravine Mathurin.
BMC ₂	Débordement de l'ensemble BMC sous Mare à Martin. Les brèches constitutives peuvent être plus ou moins encroûtées et avoir une allure de produits volcaniques explosifs.
Br	Brèche détritique de remblayage.
Ca	Dépôts de débris récents et actuels ("lave boueuse").
Cc	Dépôts de débris anciens ("lave boueuse").
cp	Produits de l'éroulement de Camp de Pierrot.
cpf	Dépôts marquant un lit fossile de Fleurs Jaunes.
D	Recouvrement détritique superficiel. Taille de blocs du cm à quelques dm. Matrice terreuse claire, peu cohérente.
Db	Tapis de blocs pluridécimétriques jointifs issus d'un lessivage du recouvrement superficiel.
DB	Accumulation de blocs de grande taille (jusqu'à plusieurs m ³) en chaos rocheux.
Dr	Accumulation de produits de ravinement.
Eb	Eboulis.
Ebc	Eboulis à blocs cyclopéens (10 à 100 m ³).
Pde	Epanchages de matériaux détritiques le plus souvent liés à une ravine.
UI	Unité intermédiaire, sans distinction de lithologie.
Sc	Intrusion recoupée par la topographie.
Ss	Intrusion décapée par l'érosion.
Sv	Substratum volcanique, quels que soient son âge et sa nature pétrographique.



Niche de glissement.

153 000

154 000

155 000

156 000



9

8

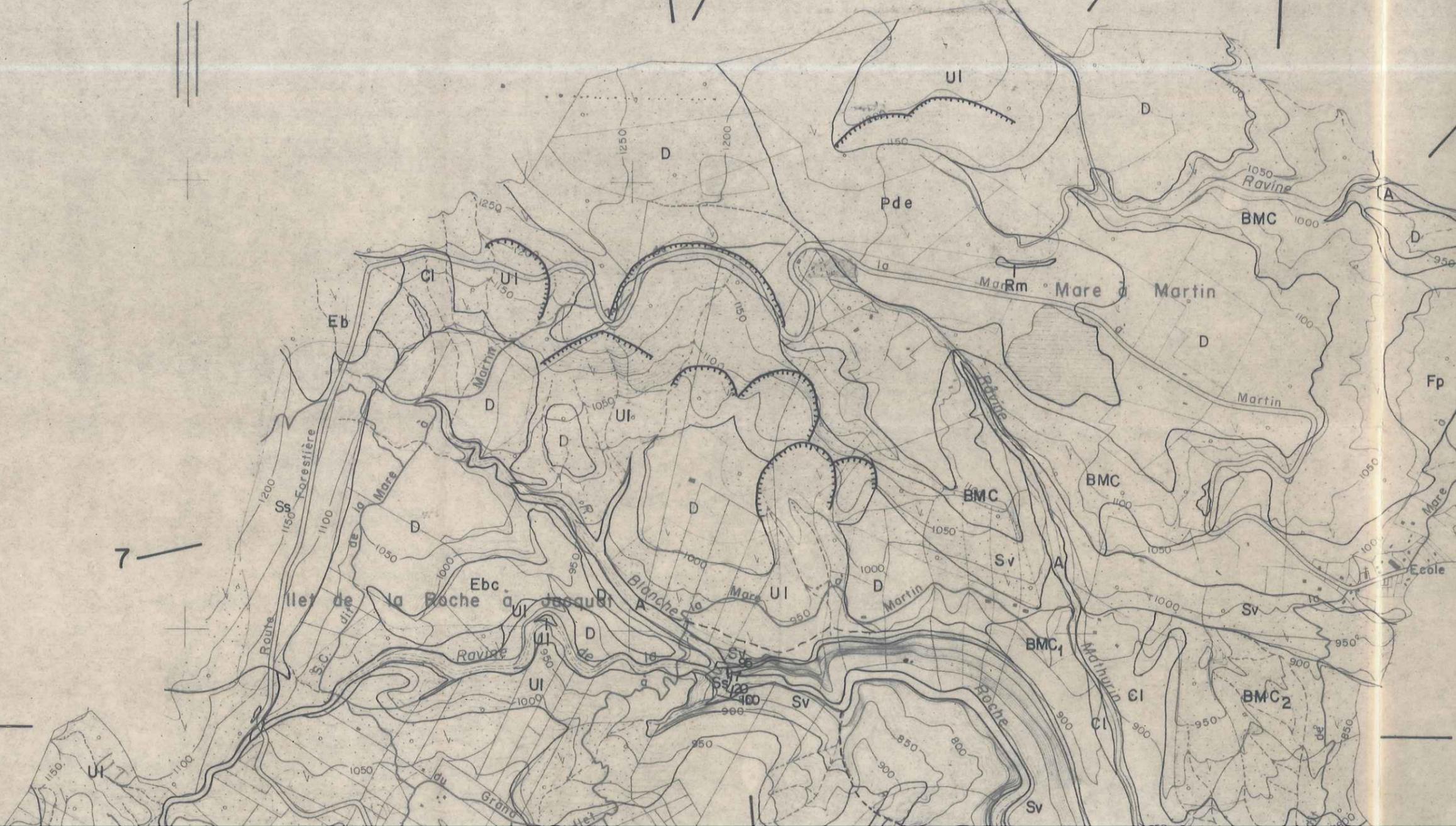
10

12

7

6

5



Route
Ecoresifère
de la
Mare
S.C.

Iles de la Roche à Jacques

Ravine

Mare

Roche

Martin

Martin

Ecole

Ebc

Eb

Cl

UI

D

Martin

1200

1150

1100

1050

1000

950

900

850

800

750

700

650

600

550

500

450

400

350

300

250

200

150

100

50

0

1250

1200

1150

1100

1050

1000

950

900

850

800

750

700

650

600

550

500

450

400

350

300

250

200

150

100

50

0

1050

1000

950

900

850

800

750

700

650

600

550

500

450

400

350

300

250

200

150

100

50

0

1050

1000

950

900

850

800

750

700

650

600

550

500

450

400

350

300

250

200

150

100

50

0

1050

1000

950

900

850

800

750

700

650

600

550

500

450

400

350

300

250

200

150

100

50

0

1050

1000

950

900

850

800

750

700

650

600

550

500

450

400

350

300

250

200

150

100

50

0

1050

1000

950

900

850

800

750

700

650

600

550

500

450

400

350

300

250

200

150

100

50

0

1050

1000

950

900

850

800

750

700

650

600

550

500

450

400

350

300

250

200

150

100

50

0

1050

1000

950

900

850

800

750

700

650

600

550

500

450

400

350

300

250

200

150

100

50

0

1050

1000

950

900

850

800

750

700

650

600

550

500

450

400

350

300

250

200

150

100

50

0

1050

1000

950

900

850

800

750

700

650

600

550

500

450

400

350

300

250

200

150

100

50

0

1050

1000

950

900

850

800

750

700

650

600

550

500

450

400

350

300

250

200

150

100

50

0

1050

1000

950

900

850

800

750

700

650

600

550

500

450

400

350

300

250

200

150

100

50

0

1050

1000

950

900

850

800

750

700

650

600

550

500

450</

155 000

156 000

157 000

158 000

9 8

10

12

11

7

6





6

3

1

2

12

5

9

11

52

A

A

SALAZIE

Fleurs

des-A

Grand Net

Ebc
che à
Jacqueli

Ravine
de

Grand
Het

Cimetière

Eglise

CD

UI

Sv

900

800

BMC

BMC

BMC₁

BMC₂

Bdf

UI

CARTE des INDICES

de

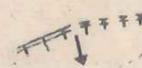
MOUVEMENTS

26 OCT. 1984

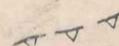
UNIVERSITE DE GRENOBLE T
INSTITUT DE GEOLOGIE
DOCUMENTATION
RUE MAURICE GIGNOUX
F 38031 GRENOBLE CEDEX
TEL. (76) 87.46.42



Arc de glissement repéré par analyse de photographies aériennes.



Panneau déplacé. Limite amont vue, interprétée et limite d'extension.



Falaise d'origine mal déterminée, érosive ou structurale.



Mouvements indéterminés de versants.



Niche de glissement vue et interprétée.



Niche de glissement des principaux accidents de janvier 1980.



Zone affaissée en gradins.



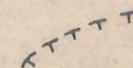
Evolution en déboulé.



Fissure dans le sol. Fissure avec indication d'orientation d'ouverture et rejet (cf. tableau).



Dépôts de l'écroulement de Grand Sable.



Niche potentielle de glissement.

Echelle : 1/10 000

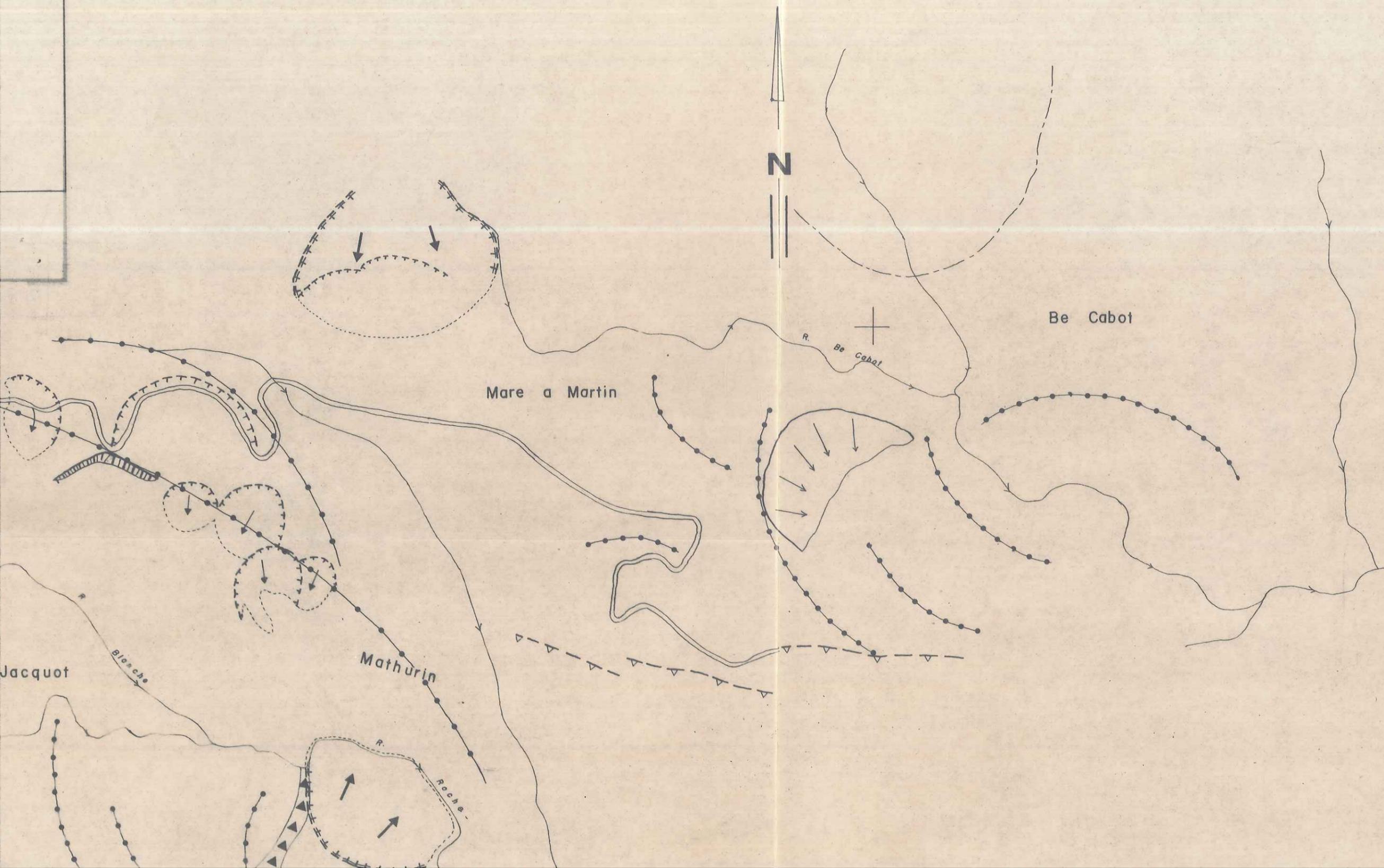
0 0,1 0,2 0,3 km.

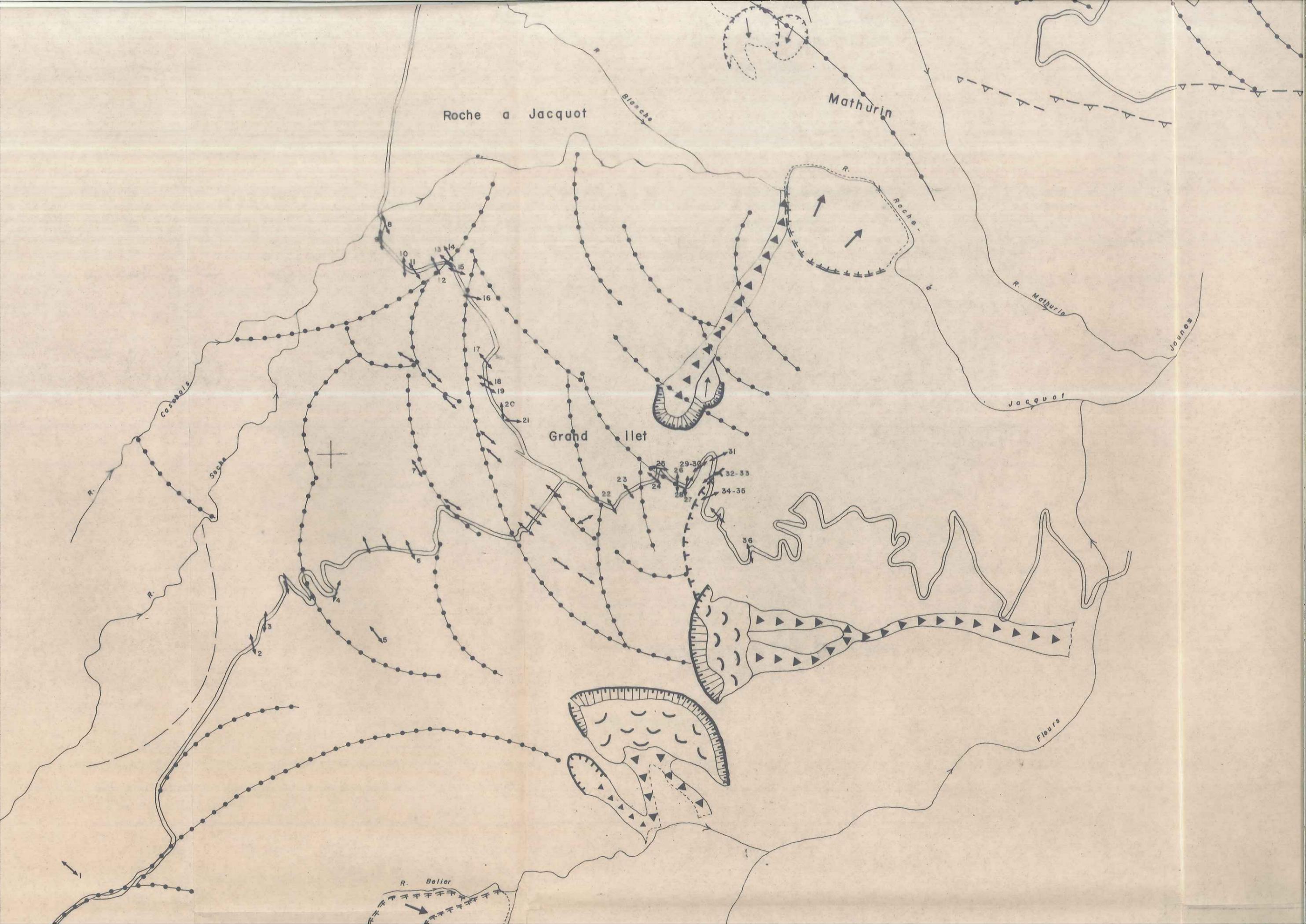
N°	Orientation Ng	Compartment abaissé	Rejet en cm	Ouverture en cm	N°	Orientation Ng	Compartment abaissé	Rejet en cm	Ouverture en cm
1*	122	-	-	-	25**	perpend. route	SE	-	-
2*	147	-	0	1	26**	177 (2 fis.)	E	15 à 20	-
3*	172	-	1	2	27**	17	W	-	-
4*	2	-	15 à 20	2	28**	47	NNW	10 à 20	-
5*	122	-	1	2	29**	37	SSE	-	-
6*	142	-	0	0,5	30**	47	NN	-	-
7*	132	-	15 à 20	5	31**	47	SE	-	-
8**	166	E	-	-	32**	47	N	-	-
9**	177	E	-	-	33**	32	SE	20	-
10**	174	E	-	-	34**	37	SE	-	-
11**	147	W	-	-	35**	37	NW	-	-
12**	152	E	-	-	36**	157	E	-	-
13**	132	W	-	-					
14**	147	-	-	-					
15**	117	NE	-	-					
16**	117	NE	-	-					
17**	147	E	10	-					
18**	147	E	15	-					
19**	137	NE	20	-					
20**	162	E	5 à 10	-					
21**	109	NNE	5 à 10	-					
22**	147	E	-	-					
23**	142	E	-	-					
24**	127	E	-	-					

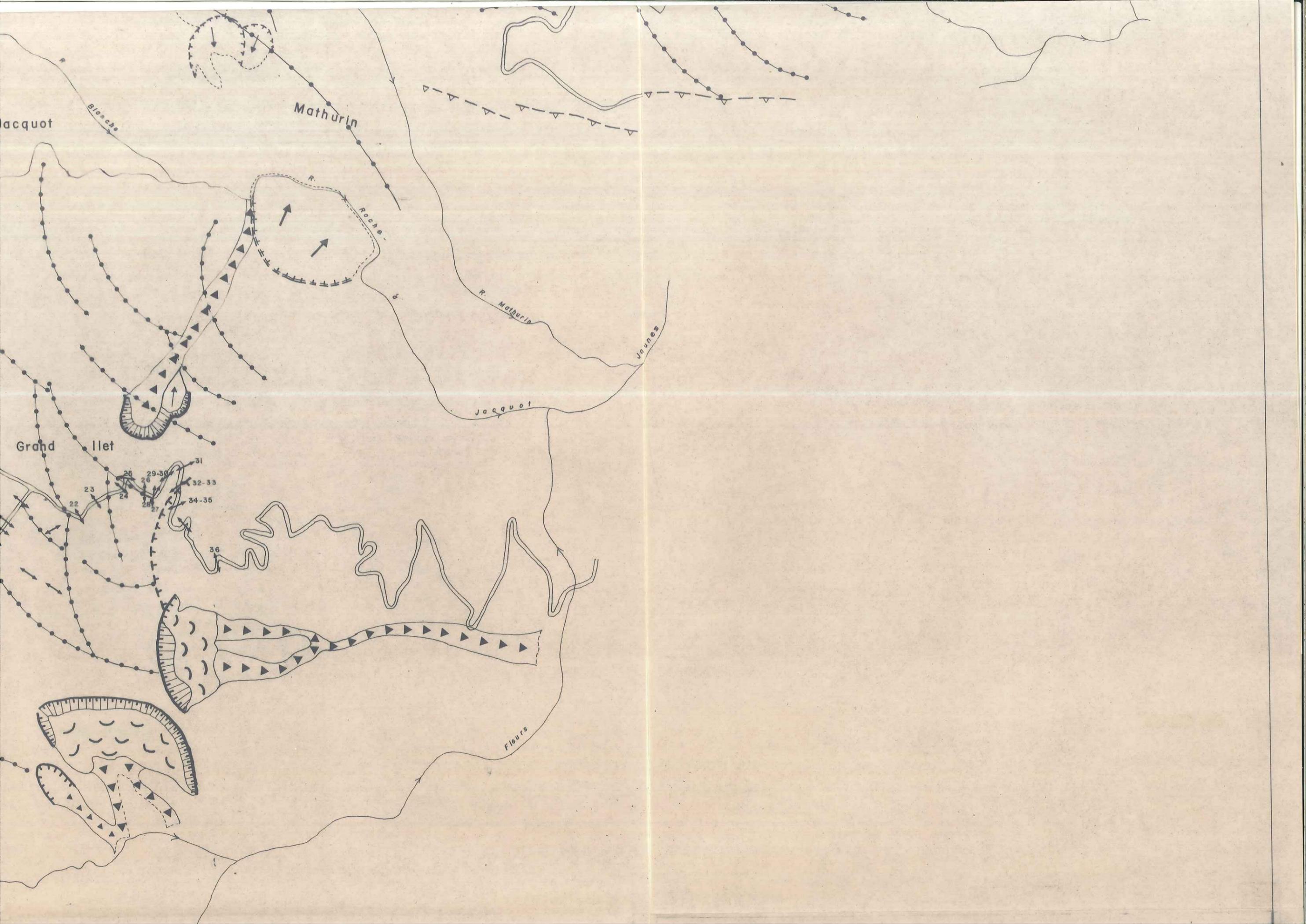
Périodes d'observation :
 * : 01.1980
 ** : 08.1982

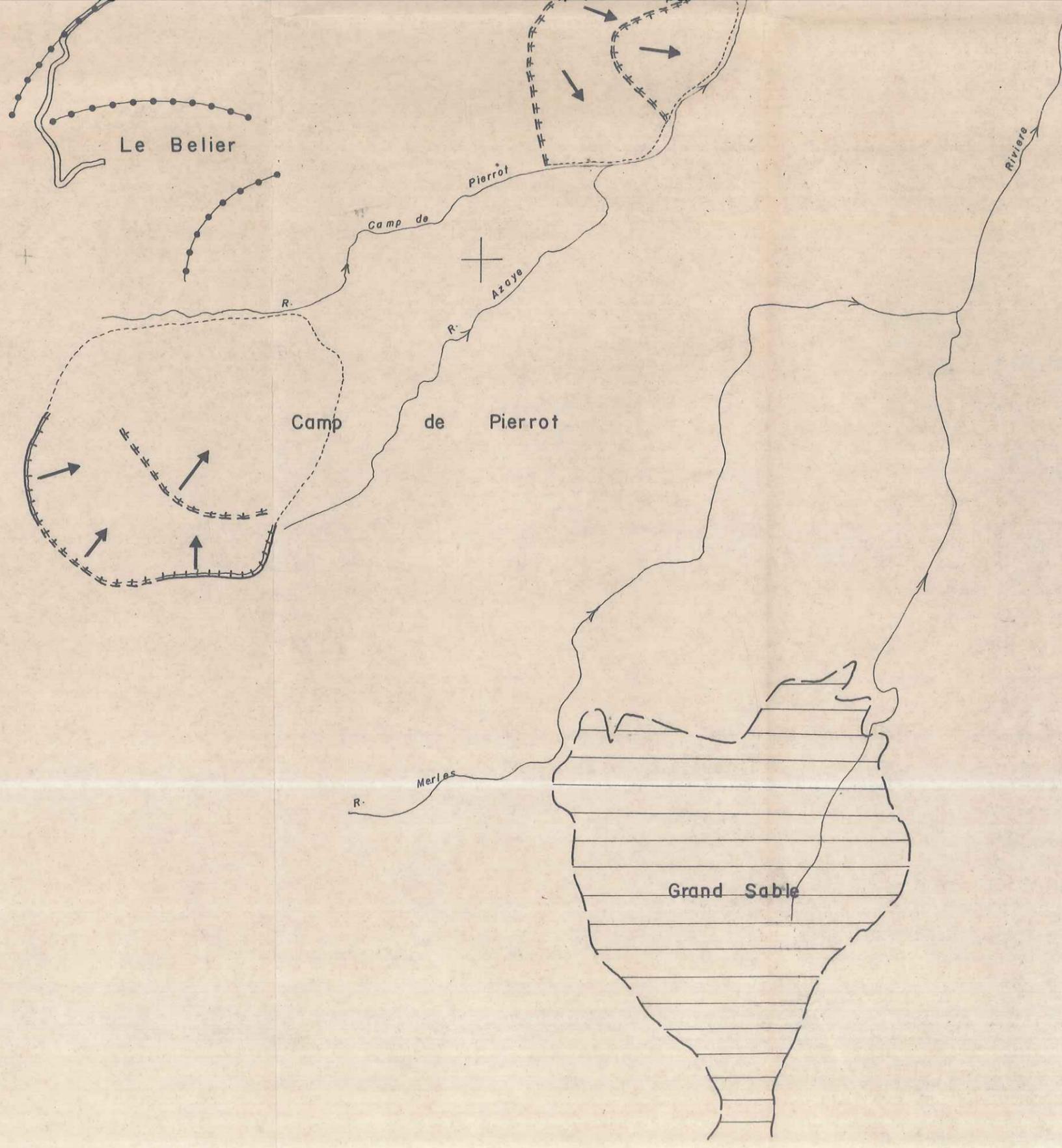


Ouverture
en cm









CARTE DES PENTES

26 OCT. 1984

UNIVERSITE DE GRENOBLE I
INSTITUT DE GEOLOGIE
DOCUMENTATION
RUE MAURICE-GIGNOUX
F 38031 GRENOBLE CEDEX
TEL. (76) 87.46.43

Echelle : 1/10 000

0 0,1 0,2 0,3 0,4 0,5 km

Légende : Dénivellations (maille carrée de 100 m.)



Catégorie 6 = 90m et plus.



Catégorie 5 = 60 à 90m.



Catégorie 4 = 30 à 60m.



Catégorie 3 = 20 à 30m.



Catégorie 2 = 10 à 20m.



Catégorie 1 = 0 à 10m.

64000

163 000

15 4000

156000

156000

63000

62000

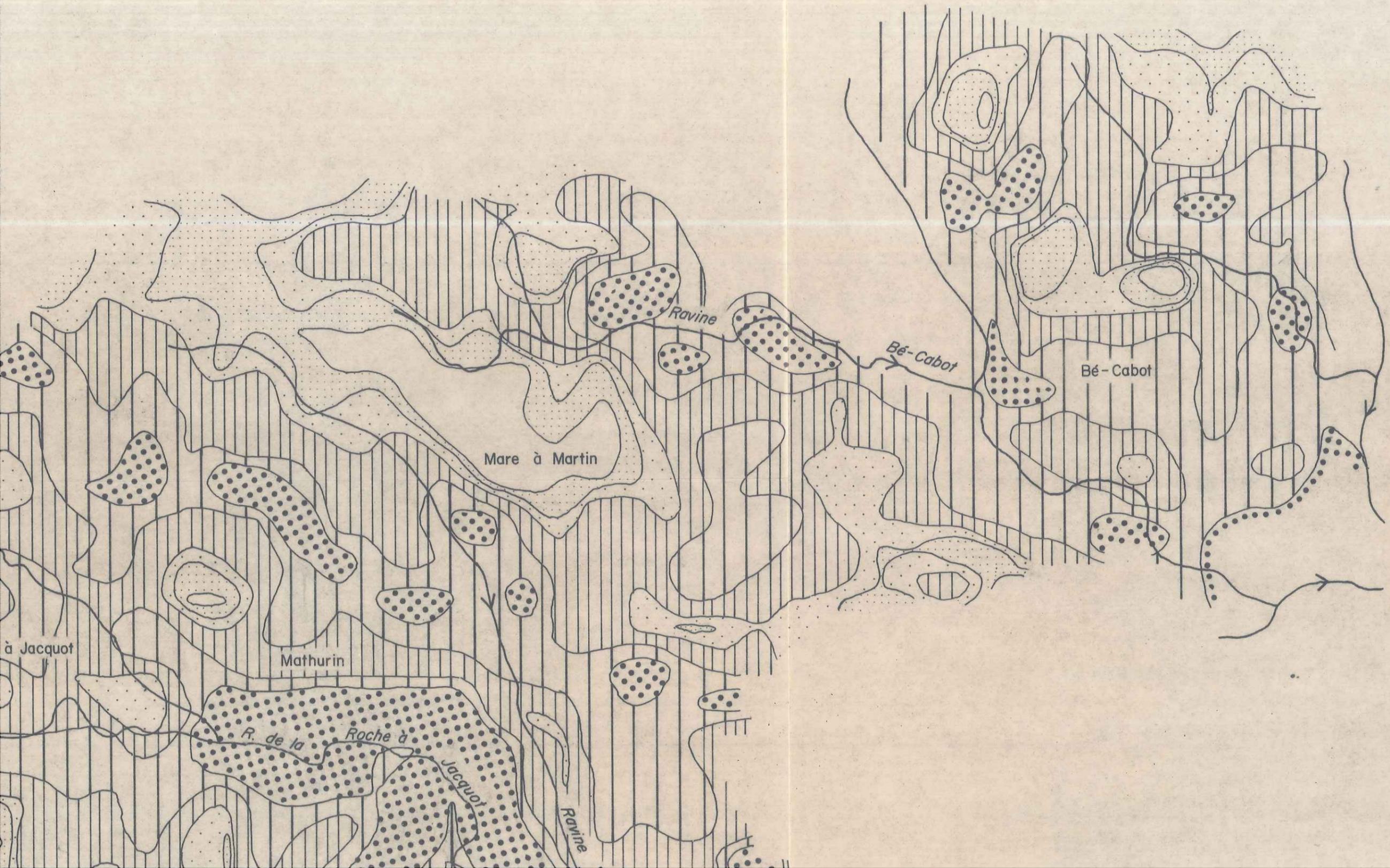


156000

156000

157000

158000

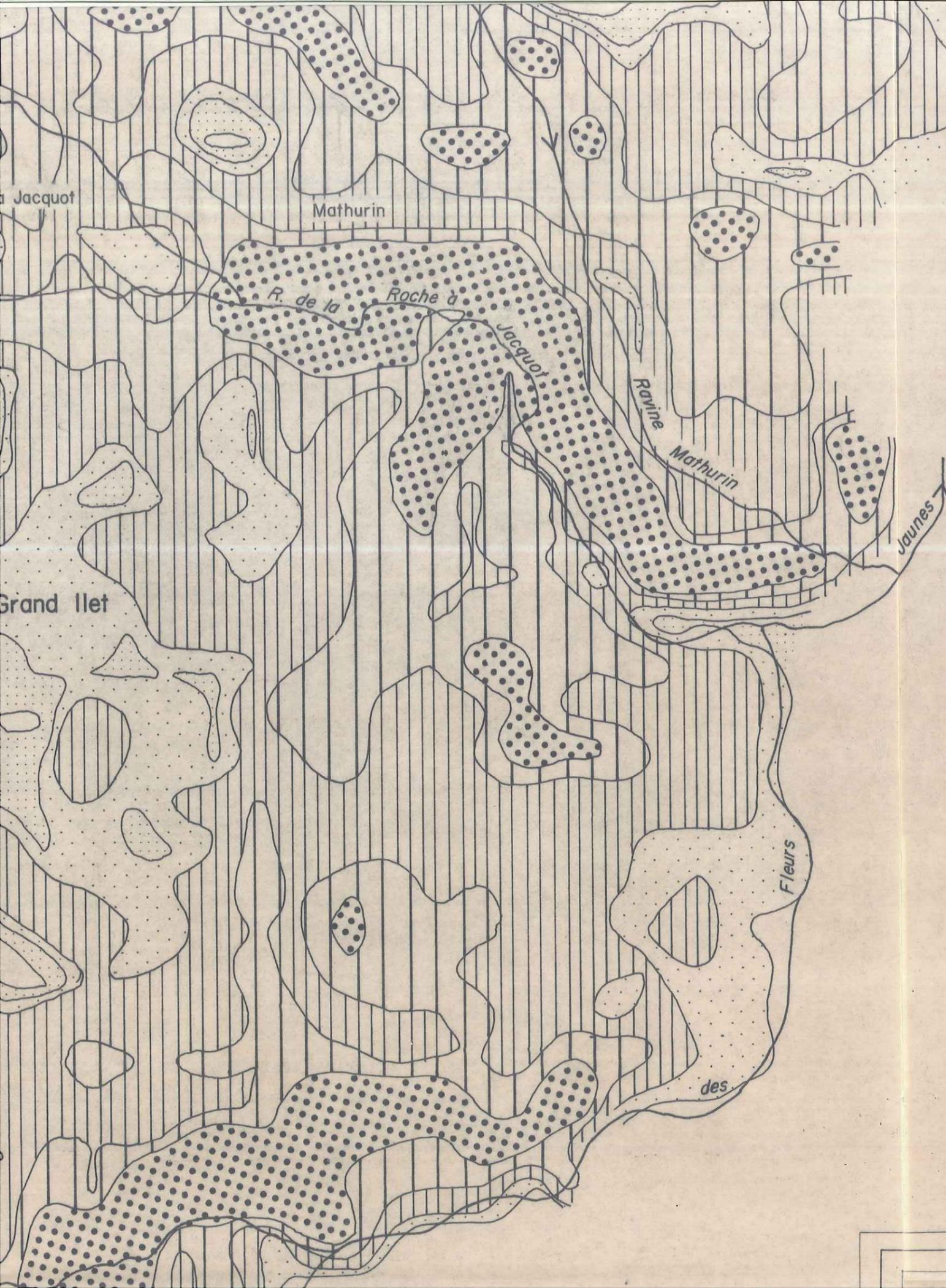


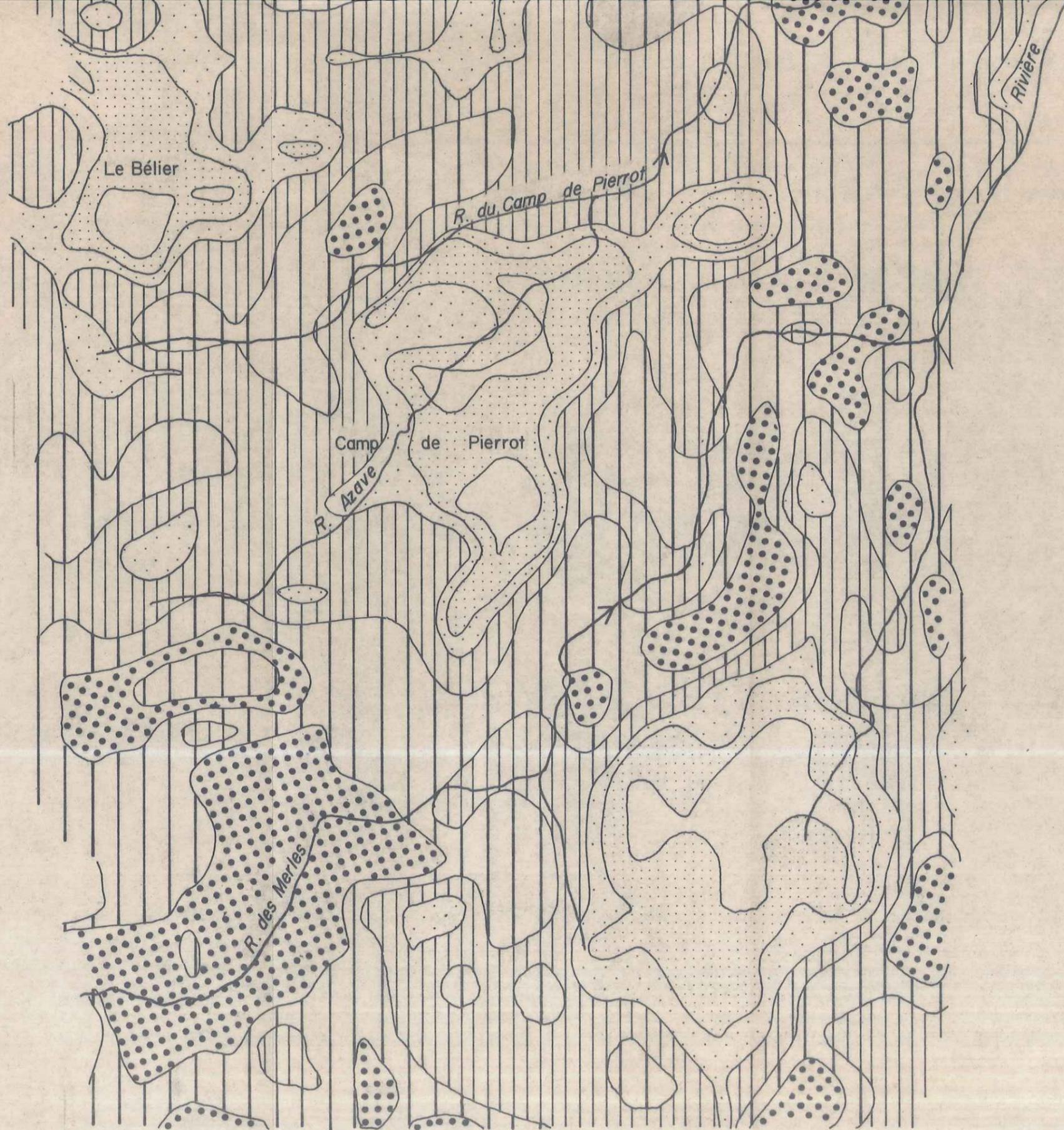
62000

61000

60000







59000

58000

57000

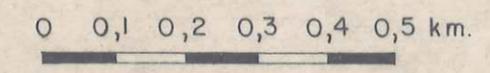
CARTE DU RESEAU

HYDROGRAPHIQUE

26 OCT. 1984

UNIVERSITE DE GRENOBLE
INSTITUT DE GEOLOGIE
DOCUMENTATION
RUE MAURICE-GIGNOUX
38031 GRENOBLE CEDEX
TEL (76) 87.46.43

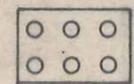
Echelle: 1/10 000



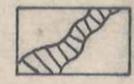
Légende:



Seuil de roche dure.



Rivière à lit bien établi, à profil plat, avec dépôt d'alluvions.



Lit de ravine à gros blocs résiduels jouant un rôle de briseur de charge.



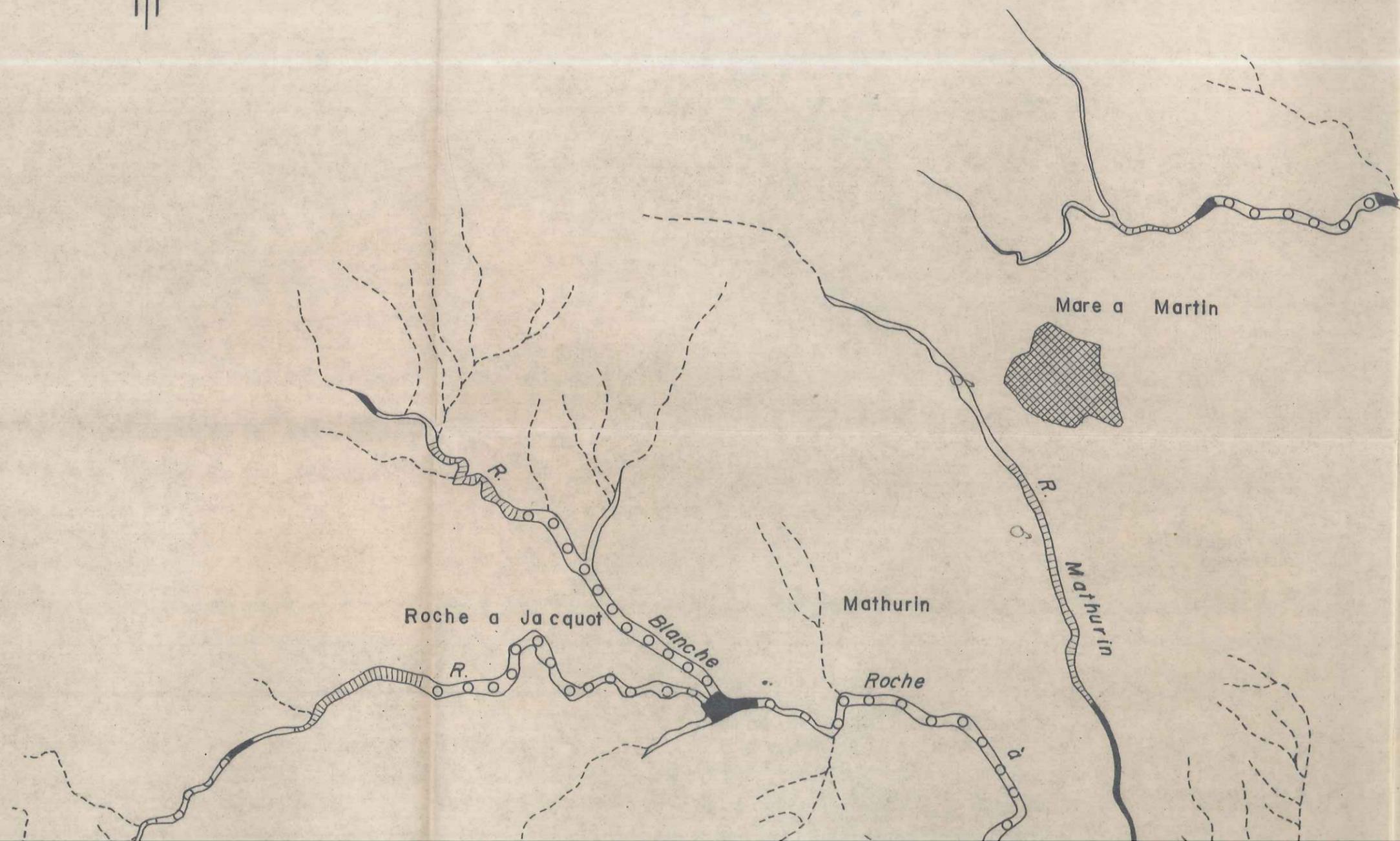
Ravines à profil stable entaillant le substratum

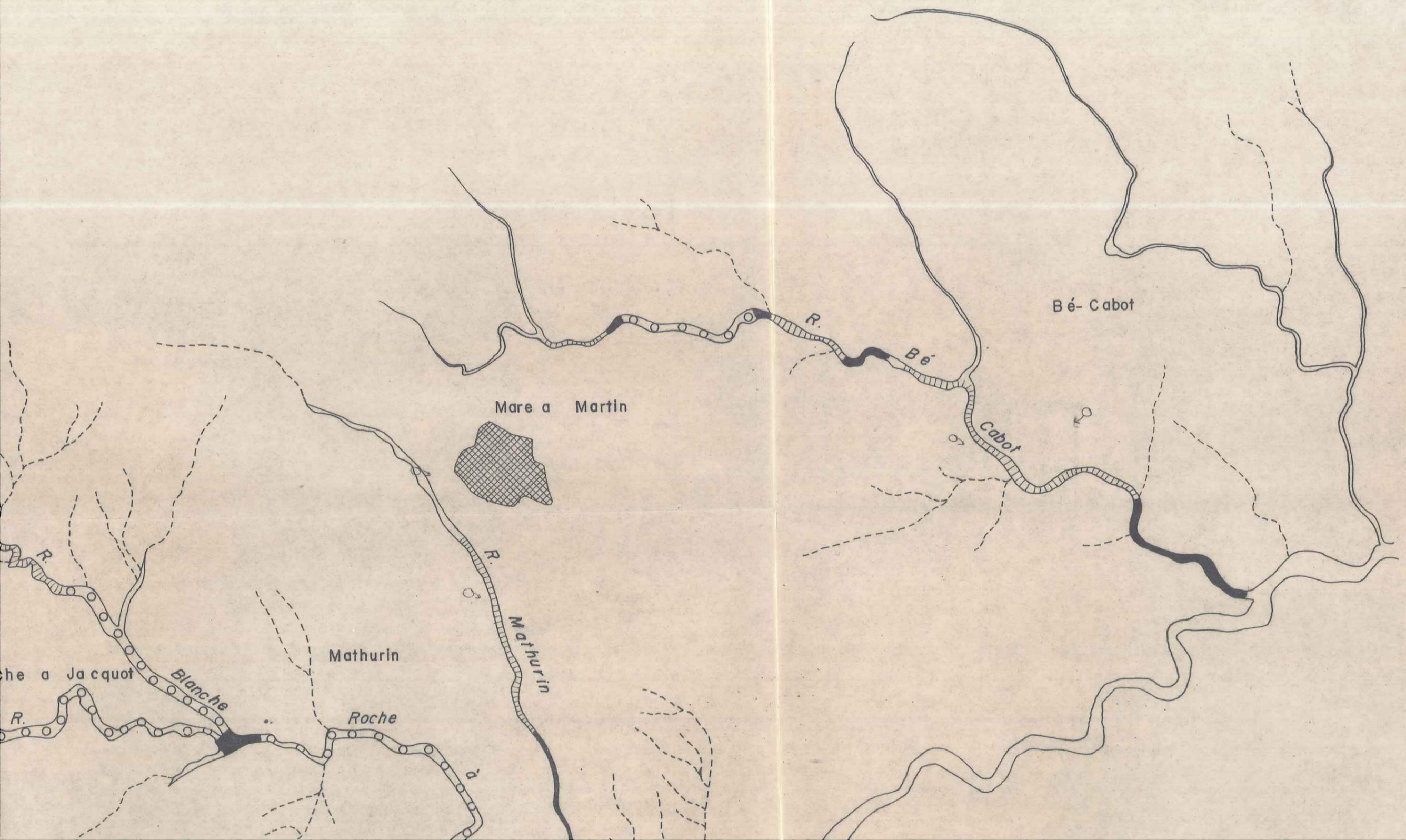


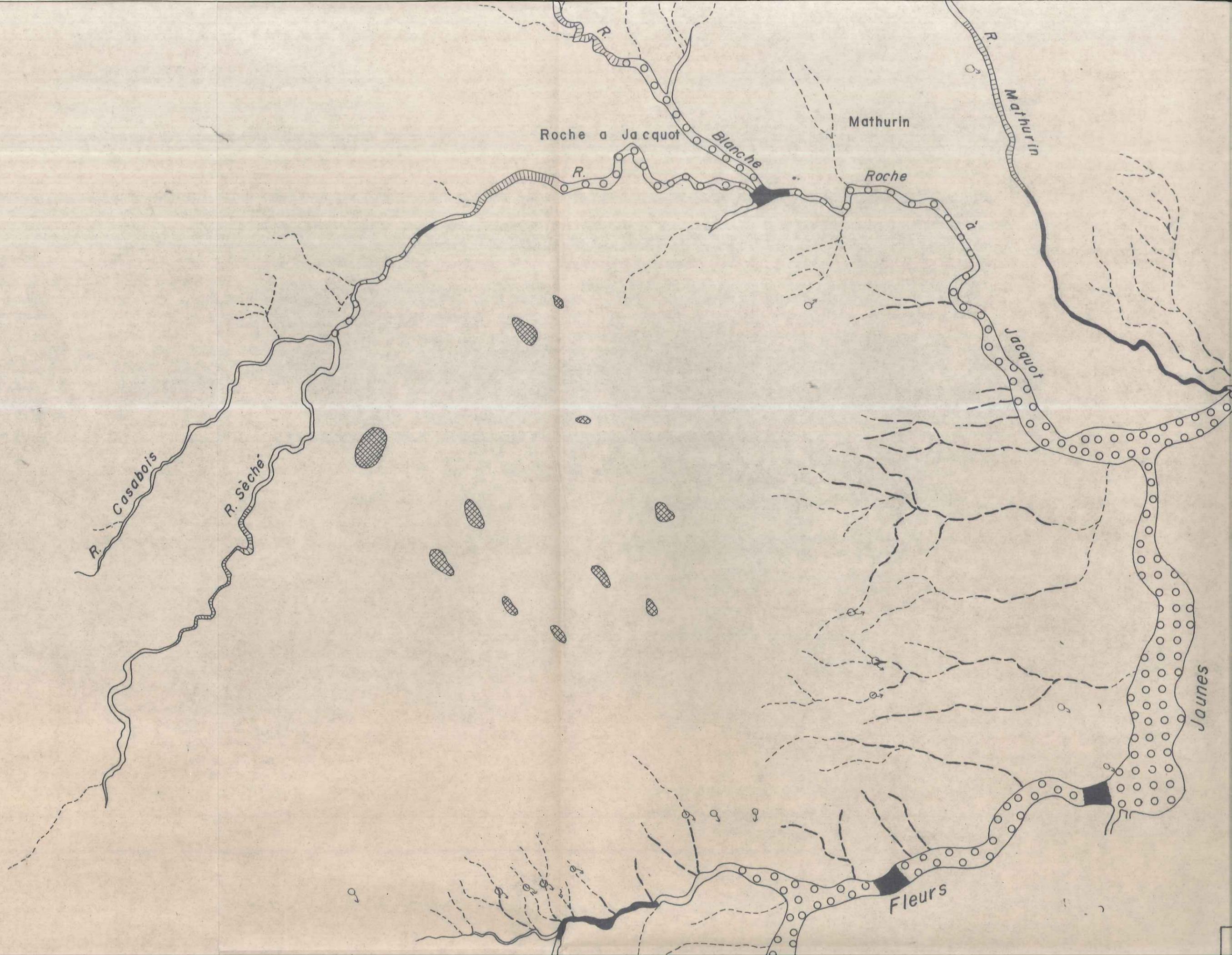
Dépression fermée

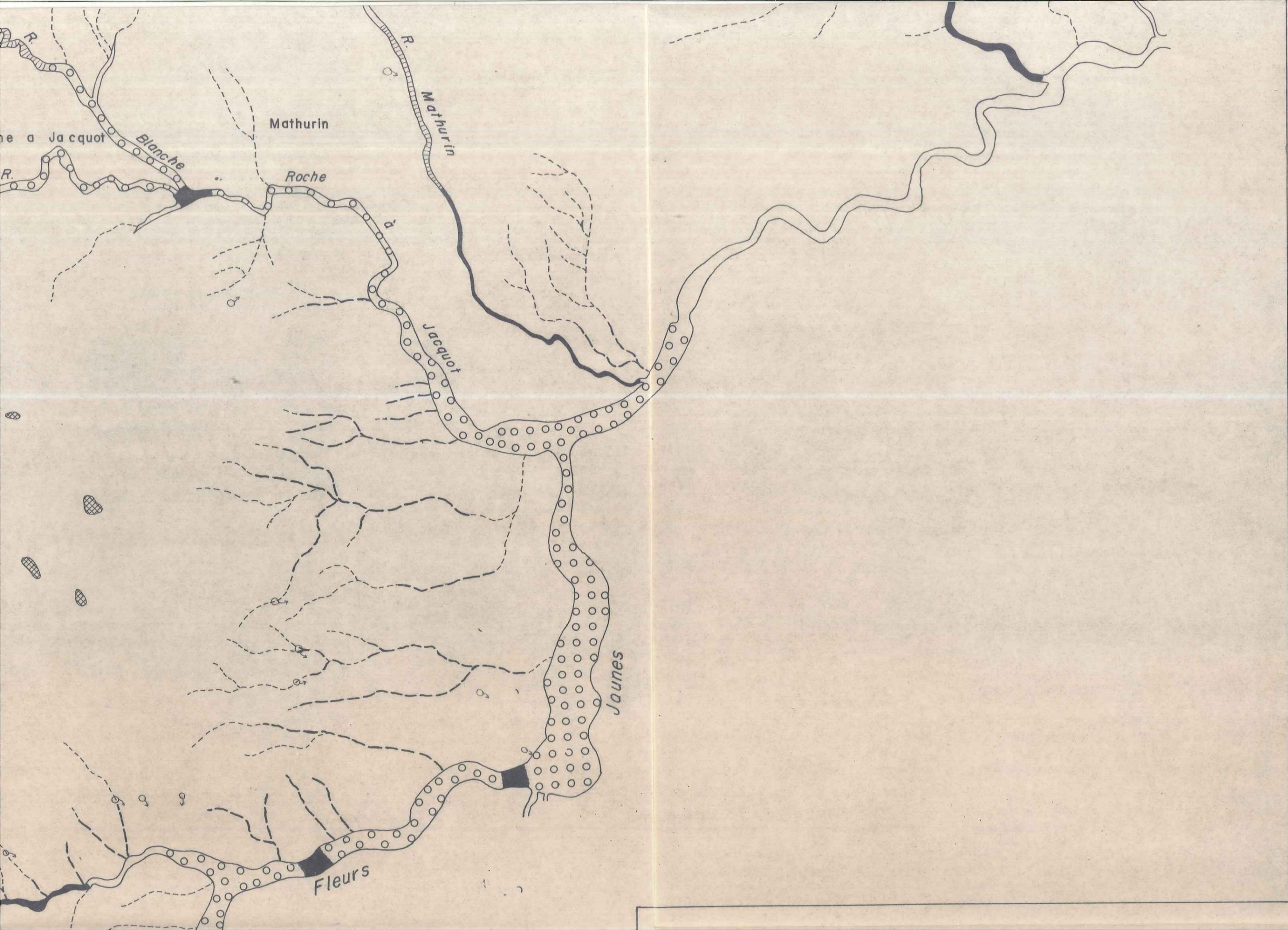


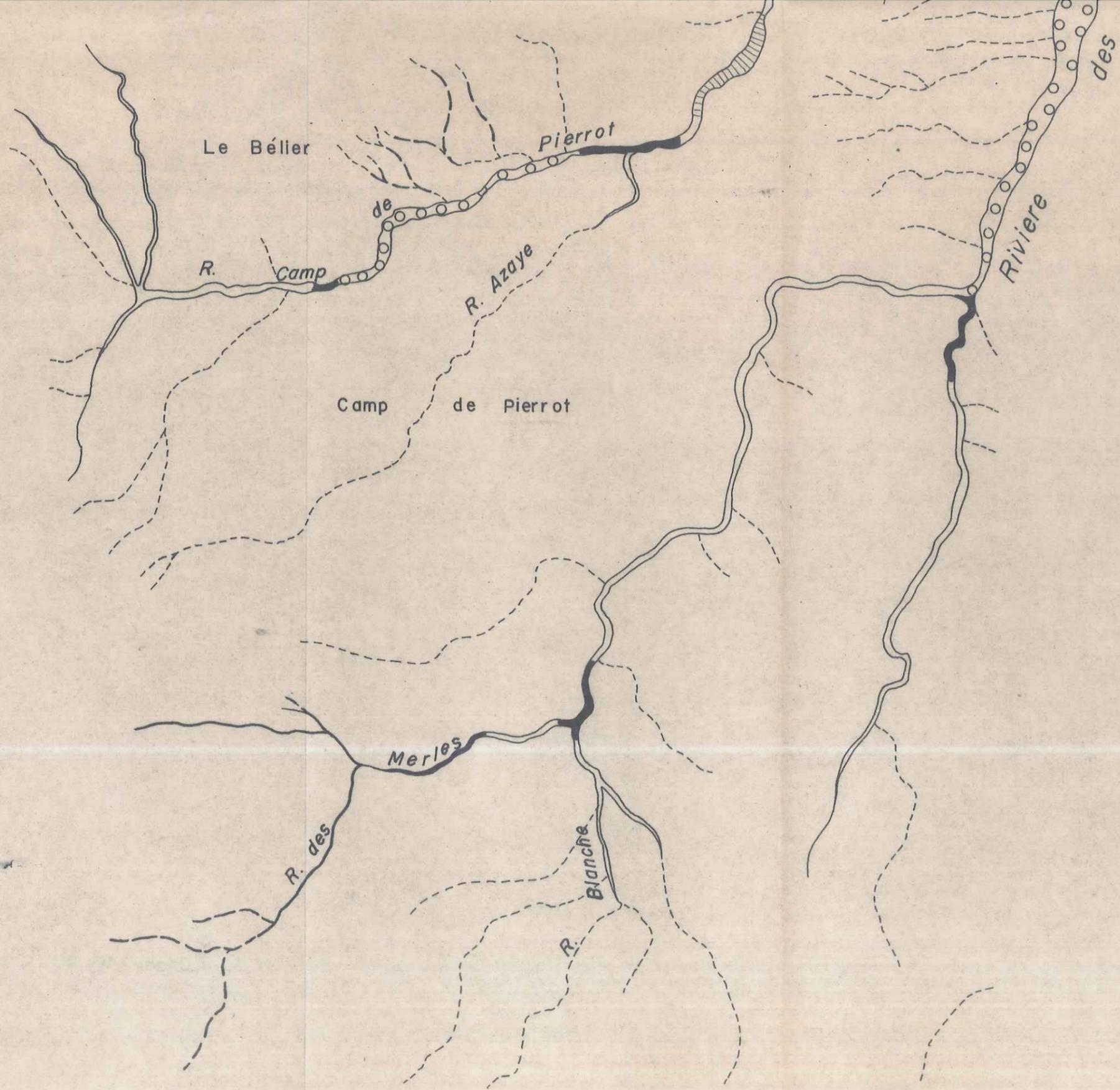
Sources









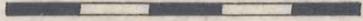


CARTE DE ZONAGE DES CONDITIONS DE STABILITE

26 OCT. 1984

Echelle : 1/10 000

0 0,1 0,2 0,3 0,4 0,5 km.



UNIVERSITE DE GRENOBLE III
INSTITUT DE GEOLOGIE,
DOCUMENTATION
RUE MAURICE CIGNOUX
F 38031 GRENOBLE CEDEX
TEL. (376) 87.46.42

Légende :

Stabilité	Zones	Sous-zones	
		Période N.	Période except.
Stable	A	-	-
Peu douteuse	B	B _i	-
Douteuse		B _c	B _i
Très douteuse			B _c
Instable	C	-	

153 000

154 000

155 000

156 000

64 000

63 000

62 000



62 000

61 000

60 000



SALAZIE

Fleurs

Papoules

des

Martin

Grand Ilet

Ilet de la Roche à laquette

Cimetière

Eglise

Ecole

Bi

Bc

B

Bc

A

Bi

A

B

Bi

Bc

C

Bc

B

B

Bc

B

B

B

B

B

A

Bc

B

Bi

Bi

Bc

B

Bi

Bi

Bi

A

1200

1150

1100

1050

1000

950

900

850

800

750

700

650

600

550

500

450

400

350

300

250

200

150

100

50

0

-50

-100

-150

-200

-250

-300

-350

-400

-450

-500

-550

-600

-650

-700

-750

-800

-850

-900

-950

-1000

-1050

-1100

-1150

-1200

-1250

-1300

-1350

-1400

-1450

-1500

-1550

-1600

-1650

-1700

-1750

-1800

-1850

-1900

-1950

-2000

-2050

-2100

-2150

-2200

-2250

-2300

-2350

-2400

-2450

-2500

-2550

-2600

-2650

-2700

-2750

-2800

-2850

-2900

-2950

-3000

-3050

-3100

-3150

-3200

-3250

-3300

-3350

-3400

-3450

-3500

-3550

-3600

-3650

-3700

-3750

-3800

-3850

-3900

-3950

-4000

-4050

-4100

-4150

-4200

-4250

-4300

-4350

-4400

-4450

-4500

-4550

-4600

-4650

-4700

-4750

-4800

-4850

-4900

-4950

-5000

-5050

-5100

-5150

-5200

-5250

-5300

-5350

-5400

-5450

-5500

-5550

-5600

-5650

-5700

-5750

-5800

-5850

-5900

-5950

-6000

-6050

-6100

-6150

-6200

-6250

-6300

-6350

-6400

-6450

-6500

-6550

-6600

-6650

-6700

-6750

-6800

-6850

-6900

-6950

-7000

-7050

-7100

-7150

-7200

-7250

-7300

-7350

-7400

-7450

-7500

-7550

-7600

-7650

-7700

-7750

-7800

-7850

-7900

-7950

-8000

-8050

-8100

-8150

-8200

-8250

-8300

-8350

-8400

-8450

-8500

-8550

-8600

-8650

-8700

-8750

-8800

-8850

-8900

-8950

-9000

-9050

-9100

-9150

-9200

-9250

-9300

-9350

-9400

-9450

-9500

-9550

-9600

-9650

-9700

-9750

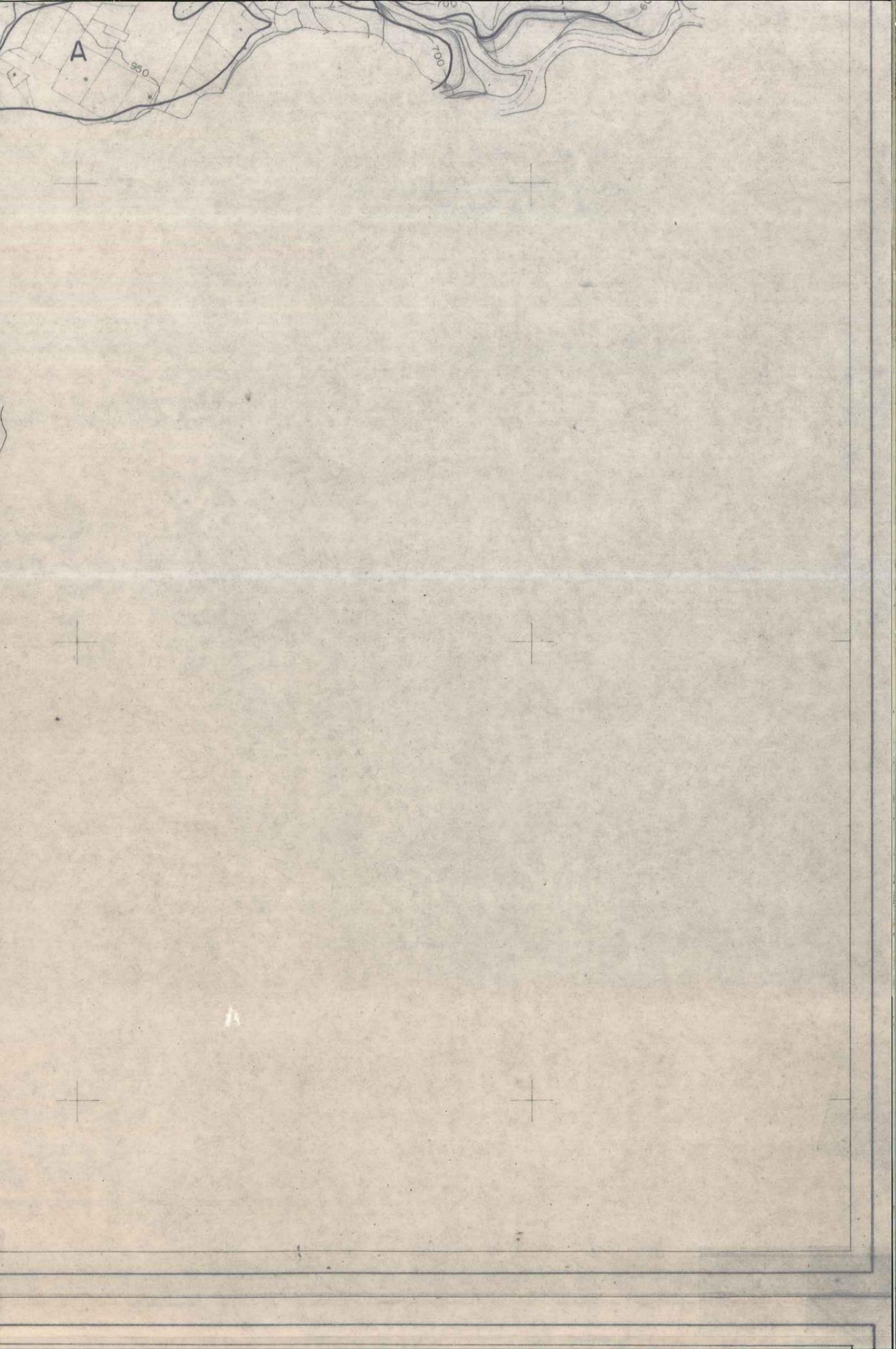
-9800

-9850

-9900

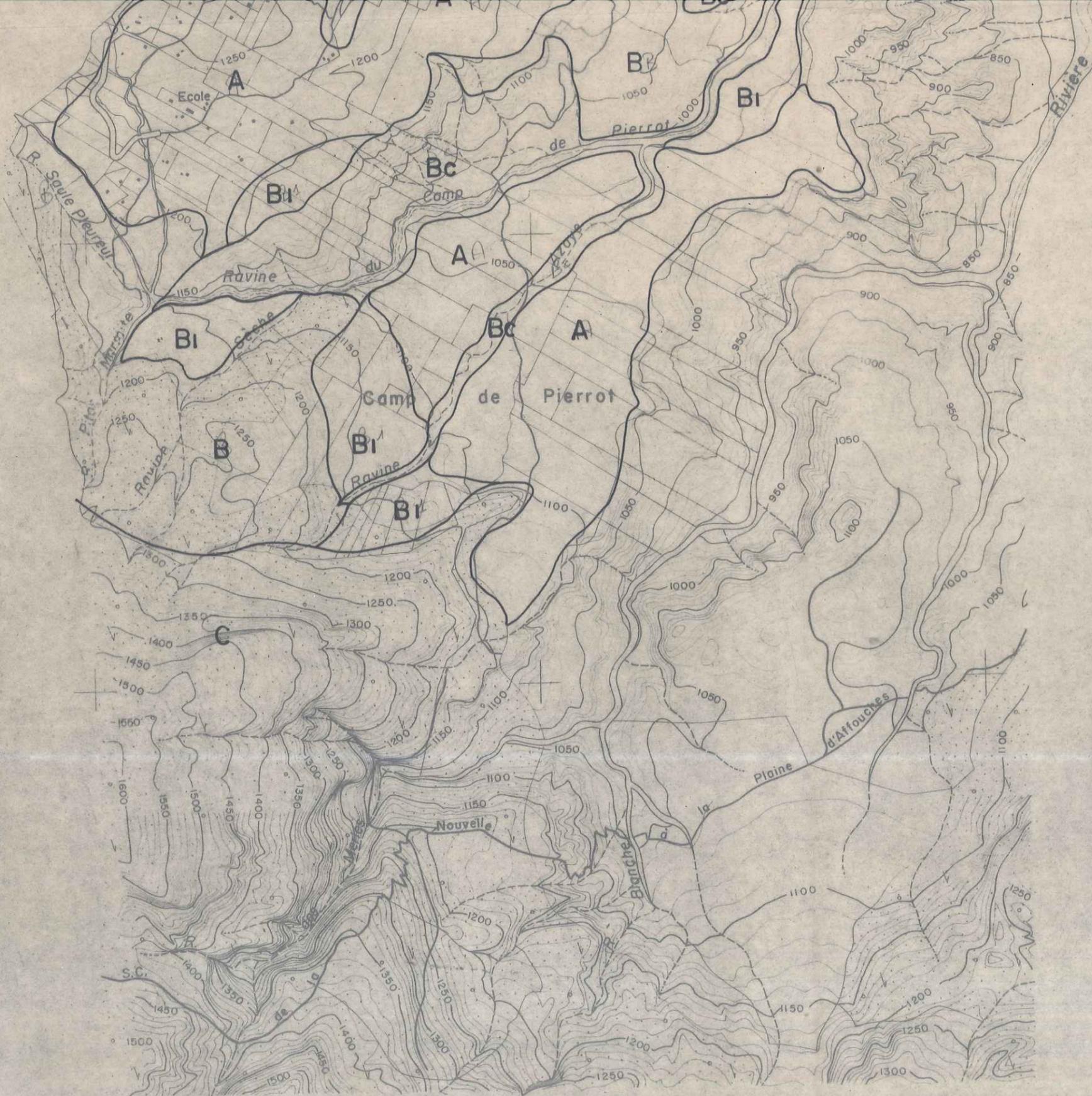
-9950

-10000



59.000

58.000



NOTA : Ce plan est rattaché en X et Y au système de coordonnées de l'I.G.N. et en Z au N.G.R.
 Il a été établi par restitution photogramétrique à partir de la mission 070.500
 Il a été complété à l'aide de documents cadastraux mis à jour en 1978