

Document public

**L'aléa naturel
mouvements de terrain
en
Nouvelle-Calédonie**
Synthèse des connaissances

BRGM/RP-52213-FR
octobre 2003



**TERRITOIRE DE
NOUVELLE-CALÉDONIE**



Géosciences pour une Terre durable

brgm

Document public



**L'aléa naturel
mouvements de terrain
en
Nouvelle-Calédonie**
Synthèse des connaissances

BRGM/RP-52213-FR
octobre 2003

Étude réalisée dans le cadre des opérations
de Service public du BRGM 2003- RIS 6 366

P. Maurizot
Avec la collaboration de
Y. Lafoy

Mots clés : Aléas naturels, risques naturels, Plan de Prévention des Risques, mouvements de terrain, érosion, Nouvelle-Calédonie, latérites, périclites.

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

Maurizot P. (2003) – L'aléa naturel mouvements de terrain en Nouvelle-Calédonie – Synthèse des connaissances. Rap. BRGM R, p., nombreuses fig., annexe.

©BRGM, 2003, ce document ne peut être reproduit en totalité ou en partie sans l'autorisation expresse du BRGM.

1. Synthèse

Depuis 1999, un programme de cartographie systématique de l'aléa mouvement de terrain a été entrepris en Nouvelle-Calédonie. L'étude en a été confiée conjointement au Service des Mines et de l'Énergie et au Bureau de Recherches Géologiques et Minières. Après l'étude de douze zones d'intérêt économique réparties en Province Nord et Sud, un bilan des connaissances acquises sur ces phénomènes naturels est présenté dans cette synthèse, financée par l'Etat.

La problématique du risque en Nouvelle-Calédonie est présentée, avec sa spécificité sociale, économique, géologique et environnementale.

Les mouvements de terrain des lotissements Mille, Berton et l'Aiguade au Mont-Dore, déclenchés à la suite du passage du Cyclone Anne en 1988, font l'objet d'une synthèse et sont pris en exemple.

Un exposé sur les méthodologies des études de risques, inspiré de ce qui est pratiqué en métropole est présenté. Les différents types de documents et cartes élaborés à cette occasion sont définis. La terminologie employée fait également l'objet d'explications.

Après une brève présentation des différents types de mouvements de terrain et de la géologie néo-calédonienne, les aléas les plus caractéristiques dans le territoire sont passés en revue. Le facteur intrinsèque primordial des mouvements de terrain du territoire est d'ordre géologique. On distingue fondamentalement deux types de contextes :

- les aléas dans le contexte du substrat volcano-sédimentaire,
- les aléas dans le contexte des massifs de péridotites.

Dans le substrat volcano-sédimentaire les désordres sont d'ampleur limitée en nombre et en intensité. On relève des glissements, des glissements – coulées. Les problèmes se posent souvent en termes de géotechnique et de stabilité de fondations. On constate cependant l'occurrence fréquente de phénomènes de liquéfaction, liés à de très fortes précipitations, accroissant la dangerosité des phénomènes. De très importants écroulements sont également décrits, totalement imprévisibles.

Dans les massifs de péridotites, l'éventail typologique est plus varié, parfois original. On relève des glissements rotationnels ou translationnels, des coulées de débris nombreuses et des laves torrentielles. Les grandes quantités de matériaux mobilisables, boueux et rocheux, et les dénivelés importants génèrent des phénomènes puissants et de grande ampleur. Les phénomènes les plus dangereux sont constitués par des laves torrentielles. Ces phénomènes destructeurs doivent être redoutés.

L'inventaire systématique doit être poursuivi et doit aller de pair avec un effort de recherche sur la genèse des formations d'altération, hôtes de tous les désordres.

2. Sommaire

1.	Synthèse.....	4
2.	Sommaire	5
3.	La problématique du risque en Nouvelle-Calédonie	11
3.1.	Nécessité d'une synthèse.....	11
3.2.	Spécificité des risques en Nouvelle-Calédonie	11
3.3.	La gestion du risque en Nouvelle-Calédonie.....	13
3.4.	Limites de l'étude.....	14
4.	L'exemple des mouvements de terrain des lotissements Mille, Berton et l'Aiguade au Mont-Dore, en 1988 et 1990	16
4.1.	La succession des évènements.....	17
4.2.	Contexte géologique.....	22
4.3.	Description et analyse des évènements de 1988 aux lotissements Mille et Berton	22
4.4.	Auscultation et étude détaillée de la zone du glissement de 1988	26
4.5.	Diagnostic et travaux de confortement de la zone du glissement de 1988.....	28
4.6.	Description et analyse des évènements de 1990 au lotissement de l'Aiguade	31
4.7.	Diagnostic et travaux de confortement de la zone du glissement de 1990.....	31
4.8.	Conclusions	32
5.	Méthodologie des études de risque : La technique de l'aléa et la politique du risque	35
5.1.	Introduction	35
5.2.	le PPR stricto sensu	36
5.3.	la carte des aléas annexée au POS et le "porté à connaissance" :.....	37
5.4.	Quelles solutions pour la Nouvelle-Calédonie ?	38
6.	Terminologie des études de risque : Définitions et documents	40
6.1.	La notion d'aléa et de risque	40
6.2.	Les différents documents élaborés dans une étude de risque	41
6.2.1.	La carte géologique et des formations superficielles.....	41
6.2.2.	La carte informative des phénomènes	41
6.2.3.	La carte des aléas.....	43
6.2.4.	La carte des enjeux et d'appréciation des enjeux.....	46
6.2.5.	Le plan de zonage ou carte réglementaire.	46
7.	Terminologie, définition et typologie des mouvements de terrains	48
7.1.	Le domaine des versants.....	48
7.1.1.	Erosion superficielle.....	48
7.1.2.	Les chutes de blocs, éboulements et écroulements ("rock fall, avalanche, rock slide") :	49

7.1.3.	Les glissements de terrain :	51
7.1.4.	Coulées boueuses, coulées de débris, laves torrentielles, embâcles :.....	54
7.2.	Le domaine torrentiel	56
7.2.1.	Engrèvement, charriage torrentiel, divagation torrentielle.....	56
7.3.	Classification Typologique des aléas mouvements de terrain.....	57
7.3.1.	Les facteurs.....	57
8.	Contexte géologique de la Nouvelle-Calédonie.....	59
8.1.	Géologie du substrat	59
8.1.1.	Le cycle anté-sénonien	59
8.1.2.	Le cycle crétacé supérieur à Oligocène	60
8.1.3.	Le cycle miocène à actuel.....	63
8.2.	Géologie des formations superficielles et d'altération.....	64
8.2.1.	Les formations altéritiques liées au substrat volcano-sédimentaire	64
8.2.2.	Les formations altéritiques développées sur la nappe des péridotites	66
9.	Les aléas dans le substrat volcano-sédimentaire	70
9.1.	Les glissements, glissements- coulées et solifluxions.....	71
9.1.1.	Glissement de terrain de Yahoué (commune du Mont-Dore)	71
9.1.2.	Glissement de Nondoué (commune de Dumbéa).....	75
9.1.3.	Glissement et solifluxion aux Jardins de Plum (commune du Mont-Dore)	79
9.1.4.	Glissements en rive droite de la vallée des Koghis (commune de Dumbéa)	82
9.1.5.	Le glissement de terrain du lotissement des Santals (commune du Mont-Dore)	83
9.1.6.	Glissements du lotissement Ngéa (commune de Nouméa)	87
9.1.7.	Glissements de Poindimié (commune de Poindimié).....	89
9.1.8.	Conclusion sur les glissements dans le substrat volcano-sédimentaire..	92
9.2.	Les écroulements.....	95
9.2.1.	Ecroulement de la Ouaième (commune de Hienghène)	95
9.2.2.	Ecroulement de la Néra (commune de Bourail)	97
9.2.3.	Synthèse sur les écroulements.....	98
10.	Les aléas dans les massifs de péridotites	99
10.1.	Le cas particulier des lavakas	100
10.1.1.	Les lavakas, problématique	100
10.1.2.	Les lavakas, descriptions	102
10.1.3.	Les lavakas, fonctionnement	103
10.2.	Les glissements rotationnels et translationnels dans les massifs de péridotites ...	105
10.2.1.	Glissement du creek Bel-Air (commune de Thio)	105
10.2.2.	Glissements du col du Camp des sapins.....	109

10.2.3.	Glissement translationnel face au col de Plum (commune du Mont-Dore)	112
10.2.4.	Glissement de la Kalouéhola (Tontouta)	114
10.2.5.	Glissements rotationnels et translationnels au pied du massif du Kopéto	117
10.2.6.	Glissement du Piton de Pandop (massif du Kaala).....	123
10.2.7.	Conclusion sur les glissements dans les massifs de péridotites	127
10.3.	Les ravines à érosion régressive	128
10.3.1.	Les ravines du creek Jeanne et Marie (commune de Thio)	128
10.3.2.	Les ravines de Païdi (commune de Pouembout, massif du Kopéto)	138
10.3.3.	Conclusions sur les ravines à érosion régressive.....	142
10.4.	Les coulées de débris et laves torrentielles.....	143
10.4.1.	Les coulées de débris de la mine de Koé (commune de Dumbéa)	148
10.4.2.	La coulée de débris du dôme du Mont Koghi (commune de Dumbéa)	151
10.4.3.	Les laves torrentielles du Parc de Ouénarou (commune de Yaté).....	153
10.4.4.	Les laves torrentielles de la rivière Daoui (massif du Mé Maoya).....	159
10.4.5.	Conclusions sur les coulées de débris et laves torrentielles	162
10.5.	Conclusions sur les mouvements de terrains dans les massifs de péridotites	163
11.	Conclusions	166
12.	Glossaire	167
12.1.	Terminologie administrative	167
12.2.	Terminologie technique des études de risques	169
12.3.	Terminologie technique des phénomènes	171
12.4.	Terminologie géologique.....	173
13.	Références bibliographiques	174

Liste des illustrations

FIGURES

Fig. 1 – Le massif du Mont-Dore vu d'avion en 1942 et en 2000.	15
Fig. 2 – Photo au lendemain de la coulée au-dessus des lotissements Mille et Berton	16
Fig. 3 – Photo du front de la coulée au niveau des lotissements Mille et Berton	18
Fig. 4 – Comparaison des photographies aériennes du dôme latéritique situé au-dessus des lotissements Mille et Berton à différentes époques	19
Fig. 5 – Le dôme des lotissements Mille et Berton en 2000, vu d'hélicoptère (photographie M. Baillaut, GéoEx).....	20
Fig. 6 – Photo montrant les deux glissements en 1990 pendant la construction des ouvrages de confortement	21
Fig. 7 – Enchaînement des différents phénomènes qui ont conduit à la coulée boueuse du Mont Dore en janvier 1988.....	24
Fig. 8 – Vue aérienne de la zone du glissement en 1990	25
Fig. 9 – Dessin de la zone d'affaissement au lendemain du glissement	26
Fig. 10 – Vecteurs déplacements en XY des points repères de la zone du glissement pendant 5 ans.....	27
Fig. 11 – Dispositif de confortement du glissement de 1988.....	29
Fig. 12 – Les différents stades d'une étude de risque.....	45
Fig. 13 – Représentation schématisée de l'aléa "chute de blocs".....	49
Fig. 14 – Eléments morphologiques d'un glissement de terrain rotationnel (d'après D.J. Varnes, 1978) :	51
Fig. 15 – Représentation schématisée d'un glissement de terrain translationnel	52
Fig. 16 – Différents types de glissements de terrain	53
Fig. 17 – Représentation schématisée d'une coulée de matériaux.....	54
Fig. 18 – Essai de classification des phénomènes du type glissements de terrain en fonction de la proportion eau / matériau (d'après Meunier, 1999)	58
Fig. 19 – Carte géologique de la Nouvelle-Calédonie.....	61
Fig. 20 – Exemple de profil d'altération sur schistes du Crétacé dans le talus de la SAV Express au niveau de Païta	64
Fig. 21 – Localisation du glissement de Yahoué.....	71
Fig. 22 – Glissement de Yahoué : Partie médiane du glissement, route coupée et emportée.....	71
Fig. 23 – Glissement de Yahoué : Zone aval de la niche d'arrachement.....	72
Fig. 24 – Glissement de Yahoué : Partie médiane avec îlots de végétation emportés.....	72
Fig. 25 – Glissement de Yahoué : l'habitation la plus en aval, recouverte par la coulée boueuse.	73

Fig. 26 – Plan de situation du glissement de Yahoué	74
Fig. 27 – Localisation du glissement de Nondoué.....	75
Fig. 28 – Plan de situation du glissement de Nondoué	76
Fig. 29 – Glissement de Nondoué : Vue de la niche d'arrachement	77
Fig. 30 – Glissement de Nondoué : Vue vers l'aval	77
Fig. 31 – Glissement de Nondoué : Vue depuis le bas	78
Fig. 32 – Localisation des glissements du lotissement des Jardins de Plum ...	79
Fig. 33 – Glissement du lotissement des Jardins de Plum : Eléments sur les désordres.....	81
Fig. 34 – Localisation des glissements de la rive droite de la vallée des Koghis	82
Fig. 35 – Positionnement des glissements (niches d'arrachement en rouge) sous les listvenites (en jaune), en rive droite de la vallée des Koghis	82
Fig. 36 – Localisation du glissement du lotissement des Santals	83
Fig. 37 – Glissement du lotissement des Santals : Eléments sur les désordres	85
Fig. 38 – Localisation du glissement de Ngéa	87
Fig. 39 – Localisation des glissements de Poindimié.....	89
Fig. 40 – Plan de localisation des glissements de Poindimié.....	90
Fig. 41 – Localisation de l'écroulement de la Ouaième.....	95
Fig. 42 – Ecoulement de la Ouaième vue depuis le NW.....	95
Fig. 43 – Localisation de l'écroulement de la Néra	97
Fig. 44 – Ecoulement de la Néra	97
Fig. 45 – Exemple de lavakas à Madagascar (Photographie T. Augé, BRGM)	100
Fig. 46 – Exemple de groupement de lavakas sur l'arête est du massif du Mont-Dore.....	101
Fig. 47 – Exemple de lavakas dans la région de Borindi	102
Fig. 48 – Localisation du glissement du creek Bel-Air.....	105
Fig. 49 – Glissement du creek Bel-Air vu d'hélicoptère (photographie B. Pelletier, SLN).....	106
Fig. 50 – Photographie du glissement du creek Bel-Air, vue depuis l'amont...	107
Fig. 51 – Localisation des glissements du col du Camp-des-Sapins	109
Fig. 52 – Glissement de terrain du col du Camp des Sapins	110
Fig. 53 – Localisation du glissement face au col de Plum.....	112
Fig. 54 – Vue du glissement depuis le col de Plum.....	112
Fig. 55 – Localisation du glissement de la Kalouéhola	114
Fig. 56 – Glissement de la Kaléouéhola (Tontouta) vue de la mine Vulcain ...	116
Fig. 57 – Localisation des glissements au pied du massif du Kopéto	117
Fig. 58 – Glissement 1 (translationnel) en rive droite du creek Péoué (photographie B. Pelletier, SLN, octobre 2000)	118
Fig. 59 – Glissement 1 (translationnel) en rive droite de l'Oué Péoué	120
Fig. 60 – Glissement 2 (rotationnel) en rive droite de l'Oué Péoué.....	121
Fig. 61 – Localisation du glissement du Piton de Pandop.....	123
Fig. 62 – Vue générale du glissement du Piton de Pandop et de la piste d'accès à la mine "Etoile du Nord"	125
Fig. 63 – Vue du glissement du Piton de Pandop depuis l'Est.....	126

Fig. 64 – Glissement du Piton de Pandop : Détail du contact de base en bordure de la piste	126
Fig. 65 – Localisation des ravines du creek Jeanne et Marie	128
Fig. 66 – Le haut de la ravine du creek Jeanne et Marie (in Dinger & Tachker, 1989) et de la mine Bel-Air	129
Fig. 67 – La ravine du creek Jeanne et Marie vue d'hélicoptère (photo. B. Pelletier, SLN).....	130
Fig. 68 – Le creek Jeanne et Marie, franchissement en 1989, après déblaiement et avant la construction du franchissement (Dinger, Tachker, 1989)	131
Fig. 69 – Franchissement actuel du creek Jeanne et Marie sur la RP 4	132
Fig. 70 – Reconstitution par interprétation de photographies aériennes de l'évolution de la ravine du creek Jeanne et Marie	135
Fig. 71 – Localisation des ravines du Païdi.....	138
Fig. 72 – Les ravines du Païdi (photographie B. Pelletier, SLN)	139
Fig. 73 – Les ravines du Païdi : Vue depuis l'aval (photographie B. Pelletier, SLN)	140
Fig.74 – Les ravines du Païdi : Détail des matériaux dans la partie aval (photographie B. Pelletier, SLN)	141
Fig. 75 – Exemples de coulées de débris dans les massifs de péridotites	144
Fig. 76 – Exemples de coulées de débris à dominante rocheuse.....	145
Fig. 77 – Exemples d'une zone constellée d'arrachements et de coulées de débris (bassin de la Tontouta)	146
Fig. 78 – Coulées de débris évoluant en laves torrentielles (vallée de la Dumbéa, branche sud)	147
Fig .79 – Localisation des coulées de débris de la mine de Koé	148
Fig. 80 – Le dôme de la mine de Koé et les coulées de débris sur son flanc nord vu d'avion.....	148
Fig. 81 – Coulée de débris rocheux en rive gauche de la Dumbéa.....	149
Fig. 82 – Localisation de la coulée du dôme du Mont-Koghi.....	151
Fig. 83 – La niche d'arrachement de la coulée du Mont-Koghi	152
Fig. 84 – Localisation des laves torrentielles	153
Fig. 87 – Creek ouest : zone de débordement.....	156
Fig. 88 – Creek ouest : Zone de débordement avec végétation rasée et dépôts de gros blocs	158
Fig. 89 – Localisation des laves torrentielles de la rivière Daoui.....	159
Fig. 90 – Laves torrentielles de la Daoui (2000, photographie B. Pelletier, SLN)	161
Fig. 91 - Quelques propriétés des profils d'altération sur péridotites	163

TABLEAUX

Tableau 1 – Récapitulatif des dépenses engagées pour l'étude et le confortement des mouvements de terrains survenus au Mont Dore entre 1988 et 1990.	33
---	----

3. La problématique du risque en Nouvelle-Calédonie

3.1. NECESSITE D'UNE SYNTHÈSE

Depuis 1998, un programme de **cartographie des risques naturels concernant les mouvements de terrain** a été entrepris en Nouvelle-Calédonie, à la demande de l'État, compétent dans le domaine de la sécurité civile et en réponse aux dégâts récurrents occasionnés par le passage des cyclones et dépressions tropicales. Ce programme est financé par la Nouvelle-Calédonie et la dotation d'État du Bureau de Recherches Géologiques et Minières. Il est réalisé par le BRGM en collaboration avec le Service des Mines et de l'Énergie et le Service des Méthodes Administratives et de l'Informatique. A ce jour, six programmes ont permis de couvrir douze régions prioritaires réparties dans les Provinces Nord et Sud de la Grande Terre.

Ces programmes répondent plus à une philosophie d'**inventaire systématique des désordres** dans une série de zones d'enjeux économiques, qu'à une véritable étude de fond des mécanismes et des phénomènes. Il privilégie le recensement plutôt que la réflexion. Cette démarche d'étude est justifiée puisqu'elle répond à une demande prioritaire "politique", sécuritaire et économique de prévention et non pas à une initiative de **recherche scientifique**.

Cependant après six années de programmation, le besoin s'est fait ressentir de classer, d'ordonner, d'établir une typologie des phénomènes recensés, de comprendre leurs mécanismes, pour mieux prévoir leurs survenues, d'affiner la prédiction des zones à risque, de chercher à mieux cerner les lois de distribution des terrains sensibles et les facteurs de déclenchement des phénomènes. Ainsi est née l'idée de cette synthèse dont le financement a été fourni par l'État (Ministère de la Recherche) et le BRGM (dotation de Service Public).

3.2. SPECIFICITE DES RISQUES EN NOUVELLE-CALEDONIE

Le facteur dominant et permanent qui détermine les mouvements de terrain en Nouvelle-Calédonie est d'ordre géologique. Dans la grande majorité des cas, les désordres résultent de la conjonction des mêmes facteurs : intense altération des roches en climat tropical, fortes pentes du milieu montagneux, événements pluvieux cycloniques qui préparent et déclenchent des phénomènes d'instabilité parfois originaux.

La Grande Terre présente sur les 500 kilomètres de son grand axe un fort relief. Les sommets dépassent couramment 1000 mètres alors que la largeur de l'île n'est en moyenne que de 40 kilomètres. Les entailles sont profondes, les vallées encaissées. Les populations se concentrent essentiellement sur le littoral ou dans les embouchures des principales rivières.

L'un des traits géologiques fondamental de la Grande Terre est constitué par les grandes étendues des massifs de péridotites. La plupart des risques naturels dangereux leur sont liés. Ces massifs sont en position topographique dominante.

L'altération propre au milieu tropical fragilise à divers degrés ces formations particulières. La roche mère est profondément transformée en latérite, résidu terreux et meuble, constitué en majorité d'hydroxydes de fer, formant un manteau épais parfois de plusieurs dizaines de mètres. Ces ensembles altéritiques présentent une faible fertilité naturelle en raison de nombreuses carences et de la toxicité due aux métaux. En conséquence, la couverture végétale qui a réussi à s'adapter à ce milieu difficile est très fragile et sensible.

Cette puissante altération est le corollaire d'un climat chaud et humide. L'abondance et la chronicité des précipitations gouvernent le processus d'altération à long terme. Mais les crises aiguës pluviométriques, cyclones et dépressions tropicales, jouent le rôle de déclencheur des phénomènes d'instabilité. Des intensités pluviométriques supérieures à 100 mm/h sont parfois enregistrées au passage de **cyclones ou de dépressions tropicales**. On relève un record de 1392 mm tombés en 24 h. sur le Mont Humboldt lors du passage du cyclone Anne en 1988.

Les débits des rivières et des "creeks" (torrents) peuvent connaître des pointes de crues exceptionnelles. Le débit liquide mesuré lors du cyclone Gyan (décembre 1981) sur la Ouaième est un record mondial : 10 400 m³/s pour 320 km². Des variations de hauteur du lit de l'ordre de la dizaine de mètres ont été rapportées. Quant aux débits solides ils ne sont pas moins importants pour tous les bassins versants.

Schématiquement, on a donc, une zone littorale au relief modéré, lieu de prédilection pour les implantations humaines, dominée par des massifs aux fortes pentes, puissamment altérés, à la végétation fragile et arrosés par d'abondantes précipitations en altitude. Cette situation, on le comprend, présente des risques.

Les phénomènes résultants sont nombreux et chaque cyclone apporte son cortège de dégâts : toute la gamme des mouvements de terrains est représentée, avec des glissements, des écroulements, des coulées de débris, des coulées boueuses, des zones de forte érosion avec ravinement actif à l'amont et engravement des cours d'eau à l'aval, des zones de débordement torrentiel. Les cas les plus bénins concernent des inondations ou des pollutions de rivières par des boues latéritiques. Les cas les plus graves consistent en coulées de "laves torrentielles" destructrices.

Ce contexte naturel très spécifique au sein de la communauté française d'outre mer (spécificité géologique aussi forte que celle de la Polynésie française, des Antilles ou de la Réunion avec ses terrains volcaniques par exemple) demande en retour une étude adaptée.

L'activité humaine n'est pas sans incidence sur ce milieu sensible. L'exploitation des ressources, au premier chef minérales, avec le nickel, mais aussi forestières et dans une moindre mesure agricoles, sont autant de facteurs additionnels qui peuvent aggraver ces conditions naturelles déjà sévères. La destruction du couvert végétal, l'abandon d'anciennes exploitations, l'ouverture de pistes, l'exploitation du sol et du sous-sol, de la forêt ou la mise en culture de certaines zones peuvent, s'ils ne sont pas maîtrisés, déclencher ou aggraver les mouvements de terrain et les phénomènes torrentiels. L'activité minière du Territoire, présente mais surtout passée, est au centre de cette problématique. **Son incidence véritable par rapport aux désordres recensés doit être établie.**

3.3. LA GESTION DU RISQUE EN NOUVELLE-CALEDONIE

La culture du risque reste faible en Nouvelle-Calédonie, ce qui est paradoxal pour un territoire soumis périodiquement aux cyclones et dont la constitution géologique et physiographique est éminemment favorable à l'instabilité des terrains. Cette méconnaissance du risque a plusieurs causes : urbanisation et infrastructures encore réduites, faible prise en compte de l'environnement, absence de recul historique sur les événements, décalage du dispositif légal par rapport à la métropole, priorité donnée au développement économique au détriment du milieu naturel, indifférence face à la réglementation perçue comme un pouvoir renforcé de l'Etat.

A cet égard, les événements les plus démonstratifs furent les glissements de terrains successifs qui eurent lieu sur la commune du Mont Dore entre 1988 (Dépression tropicale Anne) et 1990 (événement pluvieux hors saison cyclonique) et qui menacèrent gravement les biens et les personnes dans trois lotissements contigus. Cette zone a été aménagée à une époque (autour des années 70) où il n'y avait aucune prise en compte (ne parlons même pas de réglementation ...) des risques naturels en Nouvelle-Calédonie. Les événements qui en découlèrent sont analysés en détail dans le chapitre 4.

Outre leur dimension humaine, les événements du Mont Dore ont coûté plus de 100 millions de F XFP aux différentes collectivités concernées pour la réalisation des études et travaux de mise en sécurité des populations. A cette occasion de nombreux experts furent dépêchés depuis la métropole. Ces derniers essayèrent d'apporter l'expérience et d'expliquer le dispositif légal métropolitain en matière de risques naturels afin de l'adapter au contexte calédonien. Mais comme à l'accoutumée dans l'urgence, seuls les symptômes furent traités et la plus grosse partie des moyens dégagés à cette occasion furent dédiés à la protection des zones sinistrées. Pour parler en termes médicaux on privilégia la chirurgie lourde sur la zone traumatisée, puis on oublia prévention et dépistage sur le reste du Territoire. Il fallut attendre 10 ans pour qu'une véritable volonté de gestion et de prévention des risques naturels apparaisse.

Le cas du massif du Mont-Dore est exemplaire de l'évolution de la situation en Nouvelle-Calédonie. Sur la figure 2, la perception de la notion de risque est particulièrement bien mise en évidence par la comparaison de deux photographies aériennes prises à 58 ans d'intervalle. Le Mont-Dore est pratiquement inhabité à l'époque de la guerre du Pacifique, au moment où est pris le premier cliché par l'armée américaine, en 1942. Les aléas naturels y sont cependant présents et un œil exercé peut reconnaître les signes caractéristiques de mouvements de terrain. Aujourd'hui, le tissu urbain s'est considérablement développé, les enjeux, biens et personnes, se sont étendus et se sont insensiblement rapprochés des reliefs, sources de mouvements de terrain. Toutes les conditions du risque sont réunies et se sont concrétisées par les alertes de 1988 et 1990.

Bien d'autres désordres infligent chaque année des dégâts aux infrastructures de la Nouvelle-Calédonie. Si ces phénomènes n'ont pas encore fait de victimes directes, les dégâts sur les biens sont en revanche importants : réseaux linéaires divers coupés (voirie, lignes électriques, adductions d'eau), franchissements emportés, propriétés dégradées, captages détruits, rivières engravées ou polluées, lotissements inondés,

habitations endommagées et évacuées, chantiers perturbés, installations minières détruites.

Ces dommages coûtent cher aux collectivités, qu'il s'agisse de simples déblaiements périodiques, de travaux de réfections ou à l'extrême, de travaux lourds de génie civil pour la protection et le confortement des sites dégradés. En comparaison, **une stratégie de prévention du risque**, dont l'objectif premier est de délimiter les zones dangereuses et le but final d'améliorer la réglementation des futurs aménagements, représente une économie évidente sur le moyen et le long terme.

3.4. LIMITES DE L'ETUDE

Cette étude concerne strictement les aléas liés aux différents types de mouvements de terrain. Les autres types d'aléas naturels ne sont pas ou peu pris en compte. L'aléa sismique demeure faible en Nouvelle-Calédonie. L'aléa "inondation des grandes vallées alluviales" est traité par la DAVAR. L'aléa torrentiel, dans la partie basse des vallées, n'est pas pris pleinement en compte. Il n'y a pas à l'heure actuelle de spécialiste de ce type d'aléas en Nouvelle-Calédonie, alors que les risques à l'amont (mouvements de terrain) sont bien cernés (programme BRGM - SME), ainsi que les risques d'inondation à l'aval, dans les grandes vallées côtières (programme DAVAR).



Fig. 1 – Le massif du Mont-Dore vu d'avion en 1942 et en 2000.

4. L'exemple des mouvements de terrain des lotissements Mille, Berton et l'Aiguade au Mont-Dore, en 1988 et 1990

Les mouvements de terrain importants qui ont eu lieu entre 1988 et 1990 aux lotissements Mille, Berton et l'Aiguade, qui ont directement menacé les biens et les personnes, ont entraîné des études détaillées et des travaux substantiels sans équivalent en Nouvelle-Calédonie. Il s'agit là en quelques sortes, d'une série d'aléas de référence, sur lesquels les données accumulées sont suffisamment denses pour qu'on en propose une synthèse.



Fig. 2 – Photo au lendemain de la coulée au-dessus des lotissements Mille et Berton

4.1. LA SUCCESSION DES EVENEMENTS

Le 12 janvier 1988, lors du passage du cyclone "Anne", un dôme de péridotites situé au pied du massif du Mont-Dore et au droit des lotissements Mille et Berton fut affecté par des mouvements de terrain d'une ampleur inattendue. A la station météorologique voisine de la Pépinière, un pic d'intensité pluviométrique de 101 mm en 24 h fut enregistré. La veille 158 mm en 24h avaient été notés. Une langue de coulée boueuse charriant des blocs, dont certains atteignaient plusieurs mètres cubes, dévala depuis le massif minier sur plusieurs centaines de mètres et s'immobilisa à quelques mètres de l'habitation située la plus en amont des lotissements (figure 2). Le choc psychologique et l'impact médiatique furent importants.

Les experts dépêchés par les autorités découvrirent un contexte géologique éminemment fragile et instable et constatèrent immédiatement la très grande vulnérabilité des zones aménagées. L'inévitable était arrivé et il pourrait se reproduire. Les premières études pour définir les travaux de mise en sécurité furent immédiatement entreprises. Les diagnostics montrèrent que **cette zone aurait pu être facilement identifiée comme zone à probabilité élevée de mouvements de terrain**. Les photographies aériennes antérieures à 1988 montraient clairement des signes manifestes d'instabilité à l'aplomb des lotissements (figure 4). Des travaux de confortement et de protection furent aussitôt entrepris et s'étalèrent sur deux ans.

Le 27 février 1990, à la suite de fortes précipitations (218 mm en 24 h), à 500 mètres à l'est de la zone sinistrée en 1988, sur le lotissement de l'Aiguade, toujours au droit du dôme péridotitique précédent, plusieurs glissements de matériaux latéritiques et rocheux survinrent (figure 10 et 11). La langue principale de glissement s'arrêta dans un bouquet de végétation, dans des espaces non construits ou des jardins.

Bien que d'une intensité plus faible, ce deuxième événement en deux ans démontra bien, s'il était nécessaire, la sensibilité de tout ce secteur aux mouvements de terrain, et le déclenchement des désordres à l'occasion de crises pluviométriques aiguës. Une deuxième série de travaux de confortement fut entreprise. La mise en sécurité du secteur ne fut achevée qu'en 1994.



Fig. 3 – Photo du front de la coulée au niveau des lotissements Mille et Berton

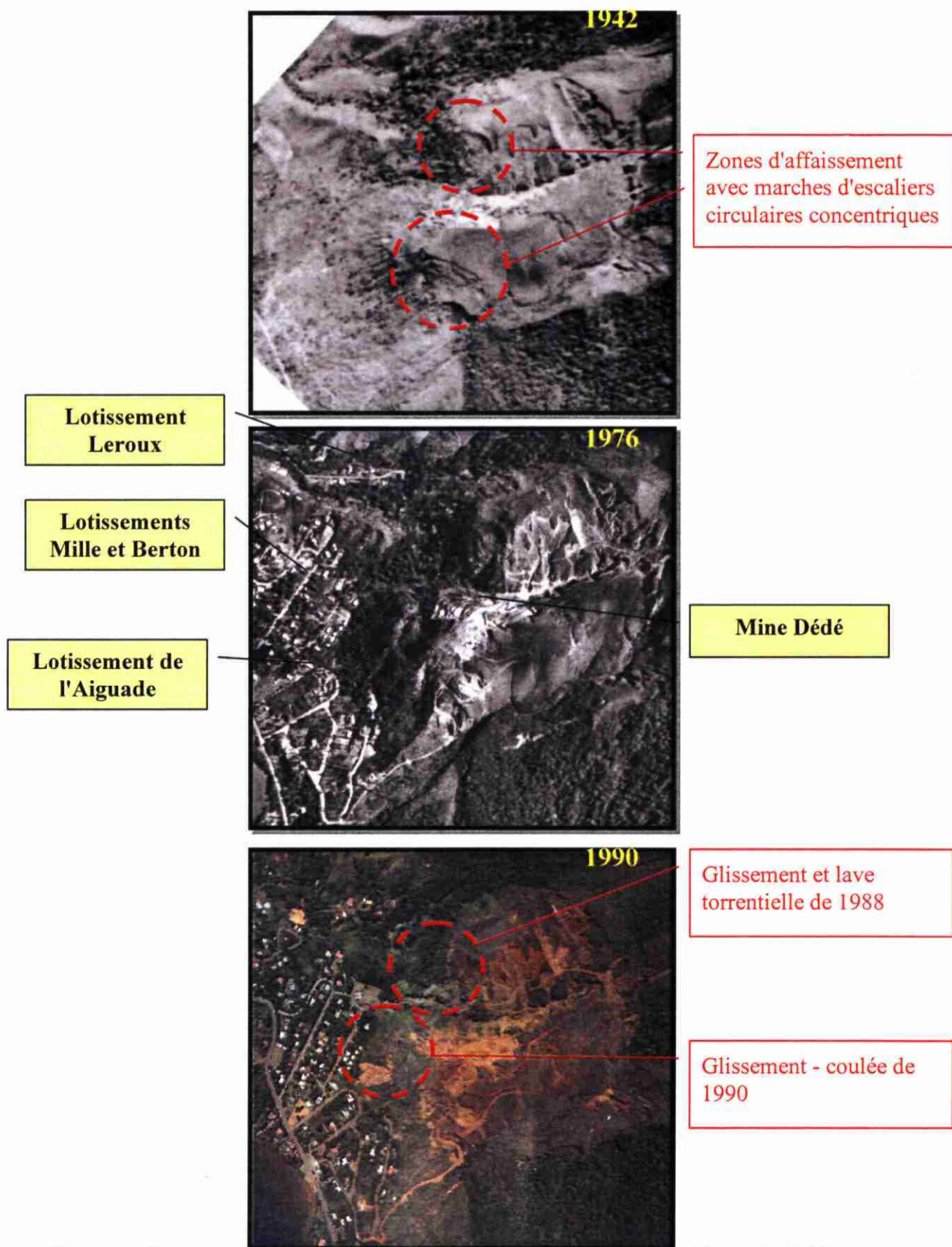


Fig. 4 – Comparaison des photographies aériennes du dôme latéritique situé au-dessus des lotissements Mille et Berton à différentes époques

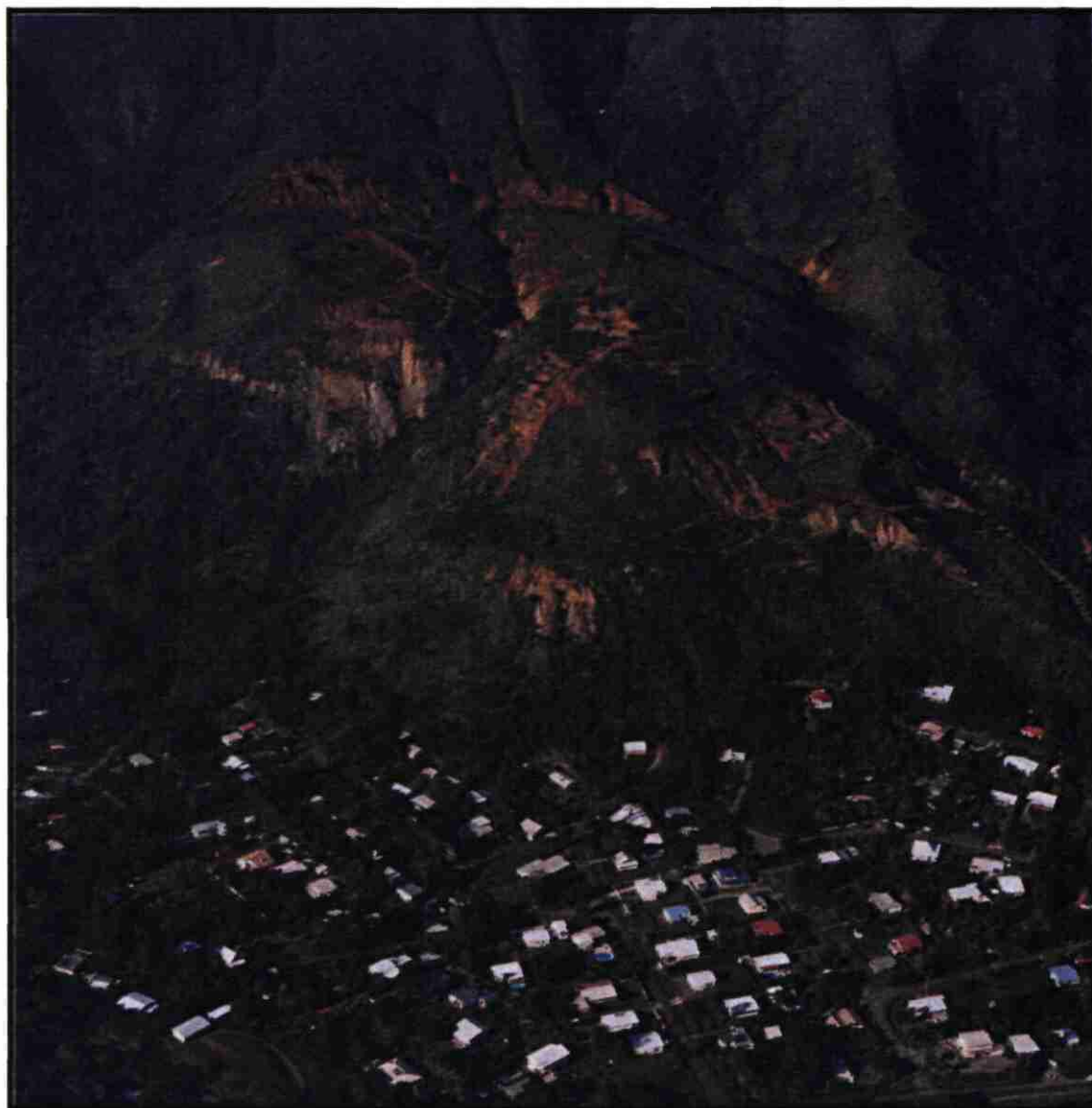


Fig. 5 – Le dôme des lotissements Mille et Berton en 2000, vu d'hélicoptère (photographie M. Baillaut, GéoEx)



Fig. 6 – Photo montrant les deux glissements en 1990 pendant la construction des ouvrages de confortement

4.2. CONTEXTE GEOLOGIQUE

Au SW du massif du Mont-Dore, au pied de l'abrupt qui fait face à la mer, s'individualise une morphologie particulière en forme de dôme, au droit des lotissements Mille et Berton (figure 4). L'examen géologique de cette zone montre qu'il s'agit d'une écaille de péridotite coincée à la base du massif, extrêmement tectonisée, serpentinisée, fracturée, altérée. La calotte convexe du dôme est recouverte par un manteau latéritique épais dans lequel de nombreux lavakas sont ouverts. Une petite exploitation de nickel ("mine Dédé Ext 1") a été autrefois exploitée (de 1935 à 1940 et de 1960 à 1970) sur sa partie SE. Il n'y a plus actuellement de titulaire minier sur cet ancien site qui tombe donc dans la catégorie des "mines orphelines". Un cours d'eau (creek de la mine Dédé) traverse le dôme. Sur ses bordures, là où la pente augmente, de nombreuses niches d'arrachement mettent à nu le substrat. Ce dernier apparaît constitué d'un matériau très peu cohésif fait de péridotites disloquées très serpentinisées, en paquets discontinus pénétrés par l'altération latéritique et séparés par des poches de latérites à blocs. Les matériaux se détachent fréquemment des flancs, laissant des cicatrices et des niches d'arrachement, et viennent s'étaler en contrebas. On relève de nombreux blocs en équilibre sur les pentes, des nappages latéritiques et éboulis sur les versants, des témoins d'anciennes laves torrentielles dans les creeks.

L'examen des photographies aériennes disponibles dans le secteur est riche d'enseignements (figure 4). Les photographies les plus anciennes remontent à 1942. On possède également des photographies aériennes de 1954 et 1976. Enfin des clichés de 1990 ont été pris après les glissements. Sur ces prises de vue, on peut nettement voir **sur la périphérie du dôme plusieurs morphologies typiques de glissement de terrain** (figure 4) avec **développement de fissures disposées en arcs de cercle concentriques délimitant des panneaux affaissés en marches d'escalier**. Deux zones d'affaissement sont particulièrement évidentes, l'une au Nord correspond au futur glissement de 1988, l'autre au Sud correspond au futur glissement de 1990. On distingue également une morphologie de coulée de matériaux dans le lit inférieur du creek de la mine Dédé. Sur les photographies aériennes de 1976, on ne note pas d'évolution significative si ce n'est l'apparition du tissu urbain et les travaux de la mine Dédé sur le dôme.

4.3. DESCRIPTION ET ANALYSE DES EVENEMENTS DE 1988 AUX LOTISSEMENTS MILLE ET BERTON

Le glissement et la coulée boueuse se déclenchent le 8 janvier 1988, pendant le passage de la dépression tropicale "Anne". Au lendemain du sinistre les premières observations de terrain et le survol de la zone permettaient de voir que **plusieurs phénomènes s'étaient en fait télescopés**.

Une première coulée de couleur claire et de composition rocheuse prenait son origine au front de la zone affaissée surplombant les lotissements. Une deuxième coulée, de composition boueuse et de couleur latéritique, provenant du creek de la mine, la recoupait nettement et avait repris et entraîné les éléments rocheux de la première coulée jusqu'aux abords des lotissements Mille et Berton.

Une série de petites sources était nettement visibles au pied de la zone d'arrachement, à l'interface entre le substrat volcano-sédimentaire (ici des basaltes imperméables) et les péridotites serpentinisées disloquées.

Le déroulement le plus probable du phénomène peut être décrit comme suit :

Phase 1 - Saturation en eaux des terrains perméables que sont les péridotites disloquées du dôme, leur plancher basaltique étant imperméable, entraînant la mise en pression de fissures pré-existantes.

Phase 2 - Glissement de la partie la plus en aval d'une zone affaissée et instable de longue date, située sur le flanc du dôme. Les matériaux ainsi écroulés sont divisés en deux parties par un replat. L'une d'elle vient s'accumuler dans le creek de la mine Dédé. L'autre termine sa course et s'amortit dans la végétation. La masse de terrain qui s'est décrochée, mesurable sur les anciennes photographies aériennes (80 m x 40 m x 10 m) est d'environ 32 000 m³.

Phase 3 – Le creek de la mine Dédé, transformé en torrent, essaye de se frayer un chemin dans les débris rocheux effondrés qui font obstacle. Il affouille en même temps le pied de la zone de glissement, contribuant ainsi à son déséquilibre et entraînant en retour la chute de nouveaux pans rocheux dans son lit.

Phase 4 - Il est probable qu'à un certain stade, le glissement a dû former un barrage sur ce creek, à l'arrière duquel s'est produite une mise en charge et une accumulation d'énergie potentielle. Le creek de la mine Dédé qui draine en amont une grande surface de latérites mises à nu dans des lavakas, alimente en matériaux fins boueux tout son cours aval. La rupture soudaine du barrage permet alors la libération d'une quantité considérable de matériaux rocheux (provenant du glissement) et boueux (provenant de la partie amont du creek). C'est le **phénomène classique d'embâcle** (accumulation de matériaux puis rupture brutale) et de **lave torrentielle** (transport de blocs rocheux dans une émulsion boueuse).

Le creek de la mine Dédé n'est pas cependant un cours d'eau très important. Il s'agit en fait d'un petit torrent au fonctionnement temporaire. Son bassin versant est réduit (9 ha). A l'aval, son exutoire est d'ailleurs canalisé dans le lotissement par une série de petits caniveaux bétonnés ne dépassant pas un mètre de section et il termine sa course dans un caniveau en bord de route, avant de rejoindre la mer. Il en est toujours ainsi aujourd'hui et son redimensionnement n'a jamais été entrepris. Il est fort probable que dans la lutte entre la partie écroulée du glissement faisant obstruction et le creek cherchant son passage, c'est le premier qui l'a emporté provisoirement avant de céder. On explique ainsi l'accumulation d'énergie potentielle qui permet d'aboutir à la libération du **phénomène de haute énergie que constitue une lave torrentielle**.

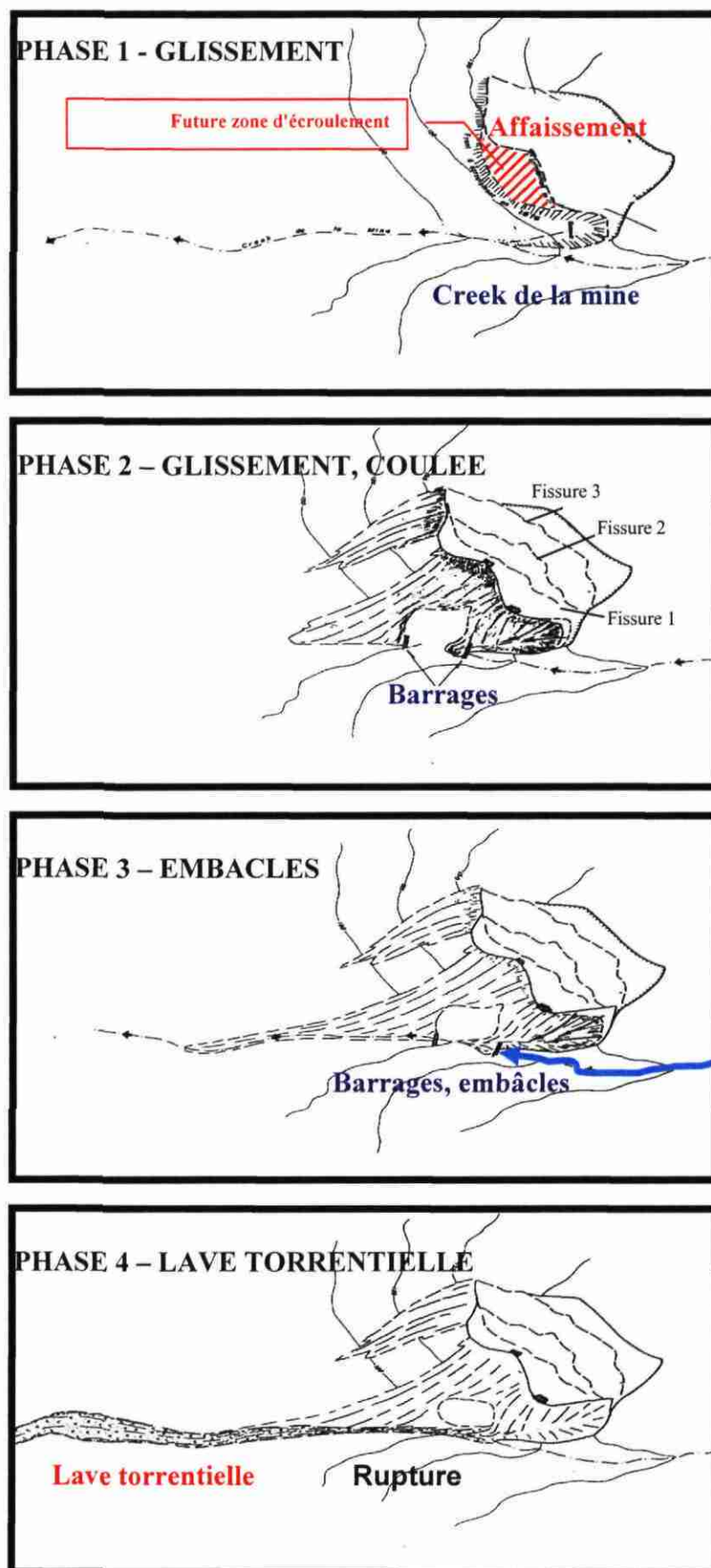


Fig. 7 – Enchaînement des différents phénomènes qui ont conduit à la coulée boueuse du Mont Dore en janvier 1988

Au lendemain du sinistre, les descriptions de l'époque font état d'un matériau boueux gorgé d'eau, sorte d'émulsion n'ayant aucune portance dans laquelle on s'enfonçait comme dans un liquide. Ça et là des blocs impressionnants émergeaient de la boue. Le plus en aval mesurait plusieurs mètres cubes (il a depuis été incorporé dans les ouvrages de protection en enrochement) et se trouvait à une distance de quelques mètres de l'habitation la plus en amont.



Fig. 8 – Vue aérienne de la zone du glissement en 1990

La reconstitution et la bonne compréhension de l'enchaînement des phénomènes (glissement, barrage, embâcle, lave torrentielle) sont décisives pour la conception des travaux de confortement qui vont être préconisés par la suite. La conclusion que l'on put en tirer fut la suivante : **le glissement en lui-même n'est pas le phénomène le plus dangereux bien qu'il soit très préoccupant. C'est l'action du creek de la mine qui est déterminante dans le déclenchement du phénomène le plus grave, par le sapement du pied du glissement, la production du phénomène d'embâcle et la libération d'un flot de lave torrentielle.** Il fallait en conséquence maîtriser ce creek. Ce diagnostic pertinent du phénomène permettra de prendre la décision importante et onéreuse de dériver le creek de la mine Dédé.

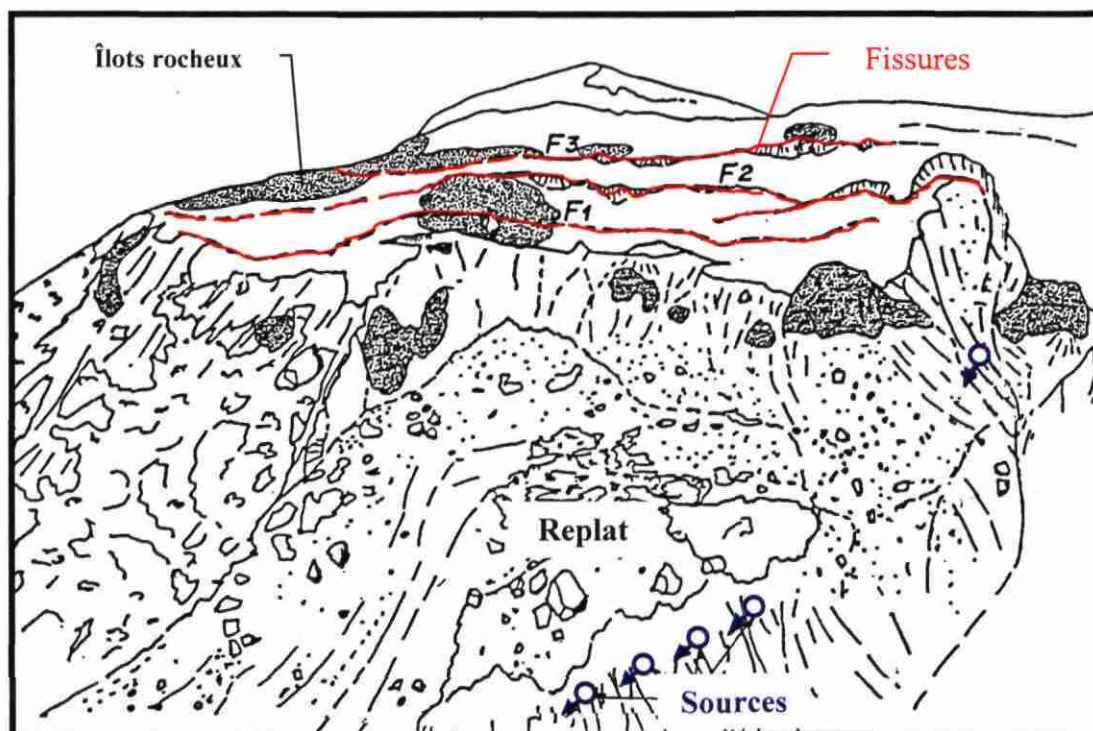


Fig. 9 – Dessin de la zone d'affaissement au lendemain du glissement

4.4. AUSCULTATION ET ETUDE DETAILLEE DE LA ZONE DU GLISSEMENT DE 1988

Plusieurs travaux de reconnaissance et d'auscultation ont permis d'étudier la zone du glissement en profondeur et de suivre son évolution dans le temps.

En surface, la zone affaissée, large de 80 mètres pour une profondeur de 40 mètres, était affectée par trois fissures ouvertes déterminant des marches d'escalier descendant vers l'aval. Cette surface et le front d'écroulement étaient constitués par des îlots et pointements rocheux altérés entre lesquels se développaient des poches de blocs emballés dans de la latérite, sujettes à l'érosion régressive et aux éboulements. Le rubanement originel des péridotites (ici subhorizontal) pouvait se suivre d'un pointement rocheux à l'autre, témoignant de l'existence d'un soubassement plus ou moins continu à l'origine, dissout par l'altération latéritique et dont le squelette en profondeur pouvait jouer un rôle d'ancrage stabilisateur vis à vis de la masse disloquée et altérée encaissante. A la base de cet ensemble, à la cote 120m, apparaît le substrat basaltique étanche, l'interface péridotite/basalte étant marquée par un alignement de sources intermittentes.

Quatre sondages en destructif ont été pratiqués dans la zone du glissement et équipés d'inclinomètres rustiques¹. On repère ainsi la profondeur des zones de cisaillement, leur évolution et on peut individualiser et corrélérer des plans éventuels de rupture. La

¹ Forage équipé d'un tubage PVC dans lequel on descend successivement différents cylindres de diamètres décroissants.

hauteur d'eau était également notée. Enfin neufs sondages électriques en deux profils ont été pratiqués pour compléter la connaissance de la structure instable en profondeur.

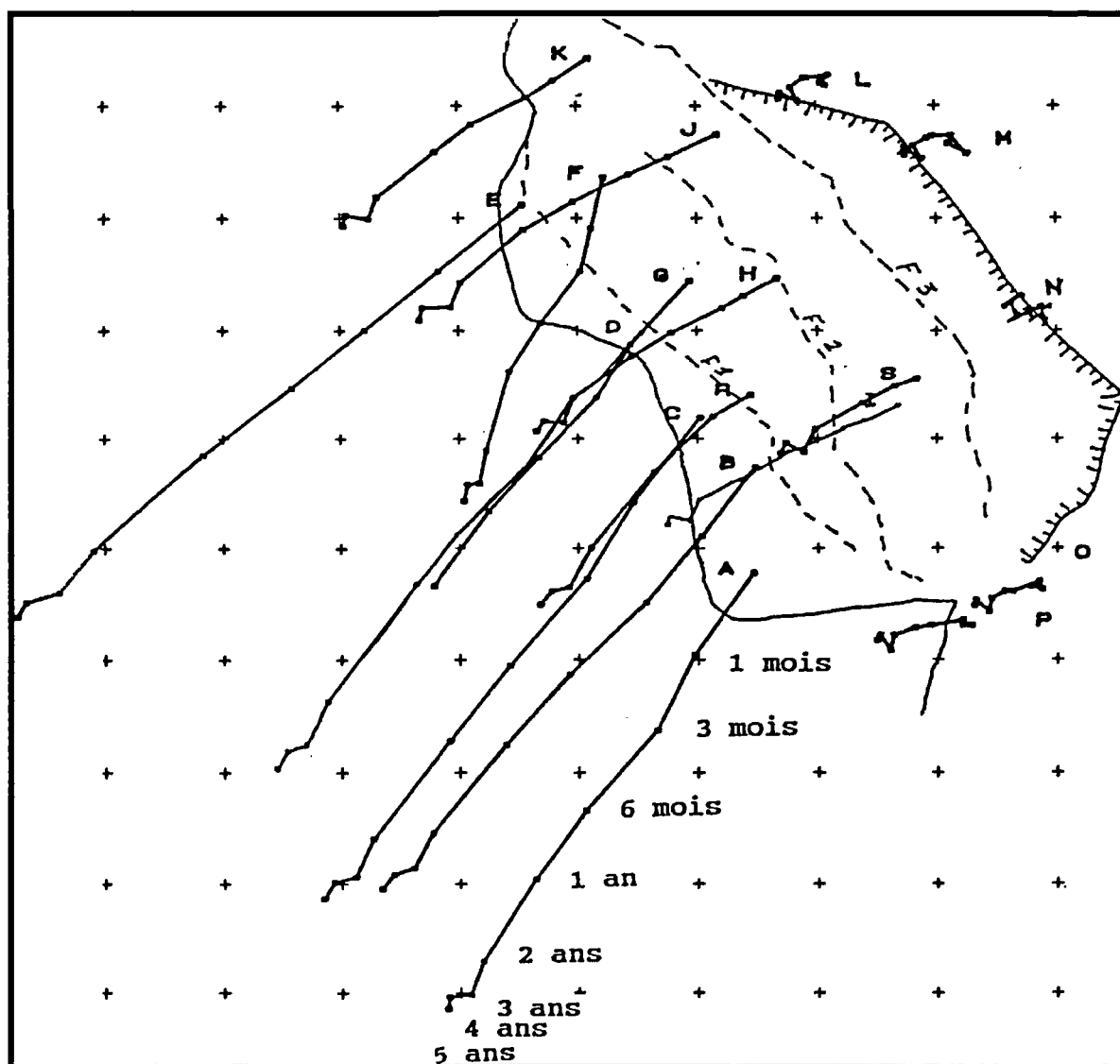


Fig. 10 – Vecteurs déplacements en XY des points repères de la zone du glissement pendant 5 ans

L'ensemble de ces observations a permis d'approcher la géométrie de la masse instable. L'épaisseur de celle-ci a été estimée à une vingtaine de mètres à l'aval pour 10 mètres à l'amont, avec de nombreuses irrégularités. Le matériau mobilisable à l'aval de la fissure 1 représente quelques milliers de m³. Le matériau mobilisable à l'aval de la fissure 2 représente 60 000 m³. Le matériau mobilisable à l'aval de la fissure 3, la plus en amont, représente 120 000 m³.

L'auscultation, c'est à dire la mesure des déformations de surface et en profondeur affectant le glissement, s'est poursuivie de janvier 1988 à décembre 1992. Elle n'est plus assurée de nos jours.

Les premières mesures des mouvements en surface ont consisté à implanter des "chaises" sur chacune des fissures. Ce dispositif rustique consiste en deux poteaux disposés de chaque côté de la fissure et reliés par une planche que l'on scie en son milieu. Il permet par la mesure de l'écartement progressif des deux moitiés de la planche sciée, de suivre l'évolution du glissement, toujours rapide dans les premiers jours. Il ne survit généralement pas à quelques semaines du fait de la destruction du terrain et du pivotement des poteaux. Un dispositif de mesure optique par théodolite avec la précision du centimètre lui a succédé.

La vitesse moyenne des différents points mobiles du glissement a été de 1000 mm/an en 1988, 250 mm en 1989, 100 mm en 1990, 50 mm en 1991. Le mouvement total du point le plus mobile a été de 1400 mm pendant toute la durée de l'auscultation soit cinq années. Les mouvements des différents points étaient étroitement corrélés. Dans l'ensemble, les points les plus à l'aval ont été affectés par les mouvements les plus importants ce qui indique qu'aucun compartiment amont ne poussait vers le vide un compartiment situé plus en aval, ce qui aurait été une situation alarmante. Le cheminement des différents repères (à l'exception du point F) dans un plan horizontal montrait un certain parallélisme des trajectoires traduisant le mouvement global "en masse".

Durant les périodes pluvieuses annuelles (décembre à mars), une accélération relative des mouvements était enregistrée, ce qui illustre le rôle moteur de l'eau dans l'évolution du phénomène.

Il y eu donc amortissement général des mouvements dans le temps, mais **non stabilisation**, l'amplitude relative des **mouvements restant sous le contrôle de la pluviométrie. Une réactivation brutale des mouvements due à un apport d'eau important reste donc possible.**

Enfin un suivi photographique régulier a été assuré pour étudier en particulier l'état de démantèlement du front rocheux de l'arrachement. Il a mis en évidence le recul progressif du front d'écroulement de janvier 1988 et la dégradation et le démantèlement progressif des plus gros îlots rocheux.

4.5. DIAGNOSTIC ET TRAVAUX DE CONFORTEMENT DE LA ZONE DU GLISSEMENT DE 1988

Les différentes études entreprises montrèrent qu'il y avait télescopage de trois types d'aléas dans la zone sinistrée et donc trois niveaux de risque. A chaque niveau de risque une protection fut adaptée.

1 – le risque de chutes de blocs sur les différents lotissements était non négligeable. Des blocs ou des paquets glissés pouvaient en effet se détacher du front de l'arrachement encore instable et en mouvement et prendre une trajectoire dangereuse du fait de la forte pente.

2 – le risque de remise en mouvement du glissement était à envisager sérieusement. L'auscultation avait montré qu'il y avait amortissement des déplacements dans le temps mais reprise à l'occasion des pluies. Les sondages avaient permis d'estimer les volumes concernés. Il fallait pouvoir contenir cette masse.

3 – le pied du glissement était affouilli par le creek de la mine Dédé contribuant grandement à sa déstabilisation. Ce fait étant déterminant dans le déclenchement du phénomène le plus grave (**embâcle et lave torrentielle**), il s'agissait du **risque le plus redoutable**. Il fallait donc maîtriser le débit de ce creek.

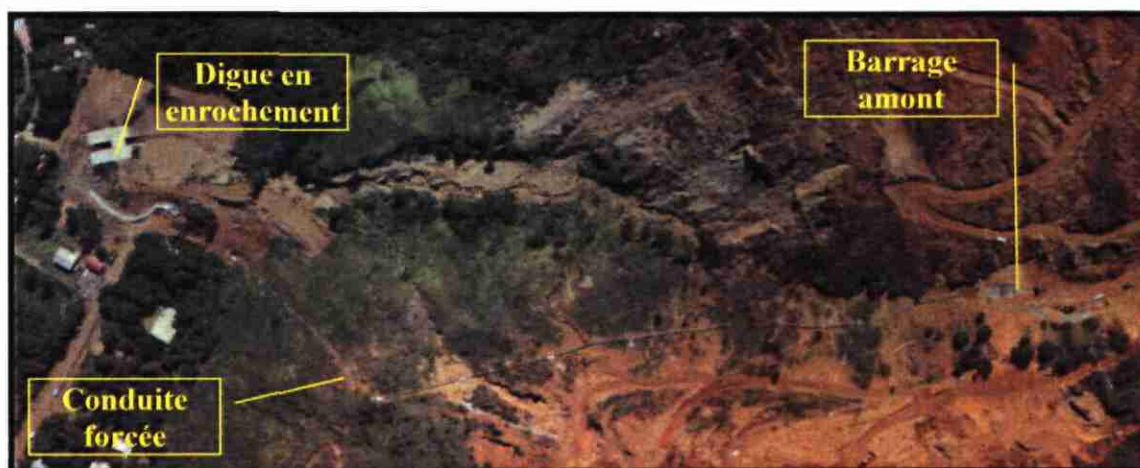


Fig. 11 – Dispositif de confortement du glissement de 1988

Les mesures de protection préconisées puis mises en œuvre furent en conséquence les suivantes :

1 - contre les chutes de blocs elles consistèrent en leur destruction par purge, démantèlement au marteau piqueur et dynamitage.

2 – contre les phénomènes de glissements, la construction d'un ouvrage de protection passive fut décidée dans la zone aval du creek de la mine, immédiatement au-dessus des lotissements Mille et Berton. Il s'agit d'une **digue en enrochement** pouvant être déversante d'une hauteur de 7,50 mètres (6,00 mètres au droit du déversoir). L'ouvrage est constitué de deux demi-digues s'appuyant sur un pont cadre central en béton-armé, sorte de passage obstrué en temps ordinaire par des poutres métalliques espacées, permettant l'écoulement des eaux du creek, mais provoquant l'arrêt et l'essorage des éventuelles coulées. En temps de crise le démontage des poutres permet le passage des engins de déblaiement. Cet ouvrage fut opérationnel en janvier 1989.

3 – contre le phénomène de laves torrentielles, la solution, lourde et onéreuse mais essentielle, de **dériver le creek de la mine Dédé** fut adoptée : Un **barrage** fut donc construit à l'amont du glissement permettant de contenir les eaux des crues dans un bassin de rétention ou "bassin d'orage" où elles sont captées par une cheminée aérienne puis dérivées par une **conduite forcée**. L'ouvrage fut livré en 1990. La conduite est destinée à évacuer un débit maximal de 0,70 m³/s, ce qui permet d'écarter et dériver les crues de période de retour de 20 ans issues d'un bassin versant d'une

surface de 9 ha. La longueur de la dérivation est de 500 m environ, elle est implantée sur la rive gauche du creek. Le rejet de l'eau se fait au niveau de la digue de protection, après qu'elle soit passée par un ouvrage en béton, dissipateur d'énergie.

Dans la partie la plus en amont du creek de la mine Dédé, au pied du talus du massif, on entreprend également la dérivation des eaux issues du bassin versant supérieur, d'une surface de 5 ha, vers le creek de l'Aiguade voisin, qui débouche près de l'école publique du Vallon Dore. Cet ouvrage, complémentaire dans le dispositif, consiste en un canal ouvert d'une profondeur de 2 mètres et d'une largeur de 2 mètres, pour une longueur de 100 mètres.

Le dispositif de confortement mis en place ne constitue pas une protection absolue face aux risques. Parlant d'aléas, c'est à dire de probabilité d'occurrence de phénomènes, il convient de raisonner en terme de scénario. Quatre types de scénario sont envisagés :

Scénario 1 : Succession de glissements - coulées localisés et étalés dans le temps. Ces coulées auraient un volume de quelques milliers de m³, c'est à dire nettement inférieur à la coulée de janvier 1988. La digue réalisée assure dans ce cas une protection suffisante.

Scénario 2 : Mise en mouvement de toute la zone en aval de la fissure 2 (60 000 m³) sous forme de glissement - coulée. Les matériaux glissés ne seraient pas saturés en majorité, le glissement étant profond et le matériau composé surtout de roches altérées et disloquées. Il s'ensuit que la majorité des matériaux glissés resteraient accrochés sous forme d'éboulis en pied du glissement, c'est à dire en dehors des zones habitées. Les matériaux saturés pourraient eux évoluer en coulée boueuse, dont le volume serait de l'ordre de 20% du volume du glissement soit 12 000 m³, en admettant une frange saturée de 4 m d'épaisseur, ce qui est sécuritaire. Le volume de la coulée serait du même ordre que celle de janvier 1988. **Dans un tel cas, la dérivation joue un rôle capital en empêchant le phénomène d'embâcle et permet d'assurer une protection efficace à condition bien sûr que la conduite fonctionne parfaitement** (pas d'obstruction venant diminuer ou annuler le débit dérivé) et que le débit du creek ne dépasse pas la capacité maximale de l'ouvrage (compatibilité entre les conditions réelles et les hypothèses de dimensionnement : fréquence de retour 20 ans, intensité des pluies, etc....).

Scénario 3 : Mise en mouvement de toute la zone en aval de la fissure 3 (120 000 m³). Ce scénario est identique au scénario n° 2, le volume du glissement étant ici le double. Mais il est moins probable car les résultats de l'auscultation mettent en évidence une différence de comportement entre la zone en aval de la fissure n° 2 et la zone en aval de la fissure n° 3. Dans ce scénario, compte tenu que le volume de matériau écroulé, et donc susceptible d'évoluer en coulée de boue, est plus important que dans le scénario précédent, les ouvrages réalisés pourraient ne pas garantir une protection suffisante. Il s'agit donc d'un **cas limite qui peut conduire à l'évacuation provisoire des habitations.**

Scénario 4 : Télescopage de plusieurs glissements successifs et coulées de boues successives à la suite de précipitations exceptionnelles et récurrentes. Si les conditions météorologiques rendent impossibles les interventions de curage des retenues de la digue et du bassin de dérivation ainsi que la maintenance de tout le dispositif, une

nouvelle coulée de boue à partir des matériaux glissés ou à partir d'un nouveau glissement pourrait se produire, dont volume et hauteur s'ajouteraient à celle de la coulée précédente. Il s'agit là d'une **situation incontrôlable, qui oblige à prévoir l'évacuation des habitations.**

4.6. DESCRIPTION ET ANALYSE DES EVENEMENTS DE 1990 AU LOTISSEMENT DE L'AIGUADE

Le 27 février 1990 au droit du lotissement de l'Aiguade, à seulement 300 mètres au Sud de la coulée boueuse de 1988, et alors que les travaux de confortement pour les lotissements Mille et Berton étaient encore en cours, surviennent plusieurs mouvements de terrain à la suite du passage d'une dépression tropicale (218 mm en 24h). Ces mouvements de terrain, bien que de moindre importance et moins dangereux que ceux qui sont survenus deux ans auparavant, provoquent une grande inquiétude chez les populations et les autorités locales, sensibilisées par les épisodes précédents.

Un arrachement s'est ouvert sur une largeur de 30 mètres au sommet d'une corniche bordant un replat dominant le lotissement de l'Aiguade. Un matériau boueux latéritique est venu s'écouler et tapisser le talus situé en contrebas sur 50 mètres de longueur. 5000 m³ ont été mobilisés. En amont de la zone glissée, on observe des fissures de tension délimitant les prochains panneaux potentiellement mobilisables. Quelques arrachements de moindre importance, sur la même corniche, sont visibles. Des fissures se sont ouvertes. Un peu partout, des blocs en équilibre sur les pentes montrent des signes d'instabilité. De nombreux mouvements de terres, chutes de talus, fissures dans les habitations, désordres dans les remblais, tassements dans la voirie, sont signalés. En outre les terrassements en cours pour les travaux de confortement des lotissements Mille et Berton sont sérieusement ravinés.

Sur le glissement principal, la rupture s'est produite au niveau de l'interface serpentinite altérée / substrat basaltique. Une série de sources jalonnant ce contact est nettement visible sur 200 mètres de longueur. La niche d'arrachement qui s'est ouverte à ce niveau montre des stries de glissement dans la zone argileuse qui la constitue. Le matériau déstabilisé (argile gorgée d'eau, latérite et blocs de péridotites serpentinisées) a dévalé le talus herbeux. Il s'agit donc d'un phénomène mixte glissement – coulée provoqué à nouveau par la saturation en eau des terrains et la mise en pression à l'interface serpentine – substrat volcano-sédimentaire qui a entraîné la déstabilisation et le débouillage d'une quantité importante de matériaux non cohésifs instables.

4.7. DIAGNOSTIC ET TRAVAUX DE CONFORTEMENT DE LA ZONE DU GLISSEMENT DE 1990

Le volume intéressé par ce mouvement de terrain est de bien moindre importance que celui qui menace les lotissements Mille et Berton. Il n'y a pas, comme dans les événements de 1988, de risque d'embâcle et de lave torrentielle. Le phénomène n'en est pas pour autant inoffensif, bien au contraire, les habitations étant plus proches. L'aléa étant plus faible mais les enjeux plus rapprochés, le risque demeure important.

D'autres arrachements sont susceptibles de se produire au niveau de la corniche en bordure du replat.

Une étude par sondages destructifs et sondages électriques (21 sondages en 6 profils) permet de mieux cerner les caractéristiques de la zone affectée par les mouvements. A l'arrière de la corniche qui a cédé, le replat présente une contre-pente vers le massif. Une dépression avec un petit marécage y est installée. Un terrain conducteur (gorgé d'eau probablement) apparaît sous le replat dans la plupart des sondages électriques et pourrait correspondre à la base des serpentines altérées et disloquées reposant sur les basaltes imperméables. Toutefois la géométrie et le plongement de cet aquifère sont très variables. La mise en pression de cet aquifère perché est probablement la cause du déclenchement du glissement.

Les actions correctrices proposées en conséquence sont :

- réorganiser le réseau de drainage de manière à canaliser les eaux hors de la zone sensible du replat susceptible d'alimenter les sources qui sont facteurs de déclenchement. Un examen de la topographie montre qu'une solution simple (petits travaux de terrassement) permet de renvoyer les eaux vers le sud dans le creek de l'Aiguade.
- reboucher des fissures ouvertes par des matériaux imperméables pour la partie supérieure de leur remplissage.
- purger les blocs en déséquilibre.
- aménager les talus mis à vifs pour arrêter leur évolution (végétalisation en particulier).

Ces travaux seront effectués en 1992.

4.8. CONCLUSIONS

Que nous ont appris les événements qui se sont déroulés dans ce secteur entre 1988 et 1990 ?

Au plan de la gestion du risque, les désordres survenus mettent bien en lumière la **forte pression d'aléas existant au niveau des reliefs qui fait face à la pression montante d'aménagement, réunissant à terme les conditions inévitables du risque**. Ils mettent en évidence la faible prise en compte du risque dans la politique d'aménagement de l'époque (par ignorance) et les conséquences qui s'en suivirent. Cette absence de prise en compte du risque s'explique d'ailleurs très bien puisque la mémoire collective n'avait pas conservé le souvenir de mouvements de terrain survenus en cet endroit, son occupation étant relativement récente (voir photographies aériennes de 1976).

Les signes avant-coureurs d'instabilité étaient nettement perceptibles sur les documents photographiques les plus anciens. Que dire des dépenses engagées dans l'urgence pour préserver les populations par rapport au coût d'une politique de prévention. Aussi bien en 1988 qu'en 1990, il n'y eu ni dégâts sur les biens, ni sur les personnes. Mais la facture fut élevée (tableau 1). Le coût des travaux d'études

(diagnostic, sondages, auscultations, essais géotechniques) et des ouvrages de confortement (digue en enrochement pour contenir les coulées boueuses, barrage et conduite forcée pour dériver le creek de la mine Dédé, maîtrise des circulations d'eau sur le dôme, destruction de blocs instables, reverdissement) avoisina les 130 millions de F CFP. Encore ne comptabilise-t-on là que le montant des différents travaux de marché public. La somme de travail dépensée à la suite de ces événements par la municipalité du Mont Dore, le Territoire, différentes administrations (Service des Mines, Génie Rural) et les collectivités en général, est difficilement estimable.

Travaux	Coût
1988	
Déblaiement de la coulée boueuse	10 M CFP
Études de diagnostic	20 M CFP
Auscultation	5 M CFP
Digue en enrochement	30 M CFP
Dérivation du creek	45 M CFP
Total	110 M CFP
1990	
Études de diagnostic	5 M CFP
Assainissement de la mine Dédé	5 M CFP
Dynamitage des blocs	5 M CFP
Revégétalisation	2 M CFP
Total	17 M CFP

Tableau 1 – Récapitulatif des dépenses engagées pour l'étude et le confortement des mouvements de terrains survenus au Mont Dore entre 1988 et 1990.

La zone du Mont-Dore nous enseigne également beaucoup au plan technique. L'origine de l'aléa résulte avant tout d'un contexte géologique très particulier. Ces zones sujettes aux désordres et génératrices d'instabilités sont situées au pied du massif de péridotites et possèdent des caractéristiques lithologiques très particulières que l'on a pu retrouver en maints endroits : **zone de péridotites serpentinisées et disloquées en pied de "massif minier" jalonnée par des sources apparaissant à l'interface avec le substrat volcano-sédimentaire imperméable**. Ce type de contexte géologique constitue en quelque sorte une référence. Il doit être systématiquement "dépisté" dans une étude d'aléas.

Les mouvements de terrain de 1988 et 1990 ne sont pas des phénomènes singuliers. Ils constituent l'évolution normale de ce type de relief et de contexte géologique, à l'occasion d'épisodes fortement pluvieux (environ 150 mm en 24h) dont l'occurrence est comprise entre la décennale et la centennale. Les quantités de pluie relevées toutes les trois heures à Nouméa les 12 et 13 janvier 1988 ont été de 64,2 mm en moyenne. Mais on remarque que depuis 1942, plusieurs cyclones de l'importance de la dépression tropicale "Anne" de 1988 ont affecté la région ("Béatrice" 1954, "Colleen" 1969, "Alison" 1979) sans pour autant avoir déclenché de coulées boueuses. La dimension probabiliste de l'aléa apparaît bien à la lumière de ces quelques données statistiques. Il serait nécessaire d'avoir des suivis météorologiques plus précis pour

comprendre l'impact des précipitations sur le déclenchement du phénomène (en particulier sur la période d'imprégnation précédant l'évènement).

Les mouvements de terrain survenus, dans leur complexité et leur télescopage, montrent également comment **le cumul de plusieurs phénomènes individuels** (glissement, embâcle, lave torrentielle) peut concourir à aggraver leur impact total. Et cela souligne si nécessaire l'utilité de **bien comprendre les mécanismes qui les engendrent pour évaluer leur dangerosité et diagnostiquer les bons travaux de confortement**.

La répétitivité des phénomènes est également édifiante. De nombreuses traces d'anciens événements "fossilisés" sont décelables dans l'environnement immédiat des zones d'instabilité concernées. Plus proche de nous, le retour du phénomène de glissement en 1988 puis en 1990 atteste de la sensibilité de la zone et de la permanence des facteurs de désordres.

Qu'en est-il aujourd'hui, dix ans après ? L'auscultation précise des mouvements par télémétrie a été rapidement abandonnée (1992). La municipalité doit normalement entretenir sur les différents éléments du dispositif de protection une veille annuelle. Ces mesures simples concourent au maintien de la sécurité du secteur. Elles consistent à :

- régulièrement et obligatoirement avant la saison des cyclones ou à l'occasion de pré-alerte cyclonique, inspecter les ouvrages de protection.
- après chaque période de fortes précipitations établir un constat et réaliser les travaux d'entretien ou les réparations nécessaires de façon à tenir le dispositif en état de fonctionnement optimum.
- maintenir les différents accès praticables,
- curer régulièrement les bassins de rétention.

Pour autant, le dispositif de confortement mis en place ne constitue pas une protection absolue face aux risques. Des événements climatiques d'une intensité sans précédent peuvent très bien se produire dans le futur.

5. Méthodologie des études de risque : La technique de l'aléa et la politique du risque

5.1. INTRODUCTION

Parmi les risques naturels connus : inondations, séismes, mouvements de terrains, ces derniers sont les plus mal perçus par la société. Alors que le caractère "naturel" est accepté quand il s'agit des phénomènes d'inondations pour lesquels le risque, généralement précédé par des phénomènes annonciateurs, est subi avec une certaine fatalité, il en va autrement pour les mouvements de terrain aux caractères plus soudain, destructeur et ruineux. On cherche souvent un coupable... Or, les mouvements de terrain sont par essence difficilement prévisibles. L'un des moyens les plus efficaces pour s'en protéger reste la prévention.

Lorsque les biens où les populations sont atteints par un phénomène naturel, cette intrusion est désormais perçue par le public comme quelque chose de plus en plus intolérable. La sécurité face aux éléments naturels devient alors un droit que certains n'hésitent pas à placer au même rang que le droit au travail, à l'assistance, à la santé.

Dans plusieurs pays, l'impulsion et la coordination des recherches, la législation en matière de catastrophes et de risques, sont maintenant placés directement sous la responsabilité du gouvernement. **Comment prendre en compte les risques naturels dans les documents d'urbanisme ? Quels aménagements pour garantir quelle sécurité ? Quels conseils donner aux maires pour concilier le développement de leur commune et les risques naturels ?** Autant de questions auxquelles une véritable politique de gestion des risques doit pouvoir répondre et sur lesquelles nous nous proposons d'apporter quelques éléments de réponse.

L'État s'est préoccupé de longue date de prévenir les sinistres dus aux risques naturels en métropole mais la forte spécificité des DOM TOM n'a pas permis la transposition pure et simple des dispositifs légaux dans ces contextes éloignés. On ne peut pas en effet comparer des milieux naturels aussi disparates que celui de la métropole, des Antilles ou de la Réunion avec le volcanisme, ou de la Nouvelle-Calédonie avec ses "massifs miniers", pas plus qu'on ne peut comparer leurs développements socio-économiques, leurs statuts administratifs, leurs compétences en matière d'aménagement et de sécurité civile.

Toutefois, comme partout, la fin du XXe siècle a vu une accélération de l'occupation humaine dans tous ces pays et la prise de conscience de la nécessité d'une réglementation vis à vis des risques naturels.

En métropole, divers documents ont été créés pour avertir les populations exposées et réglementer la construction dans les zones à risque. Cette réglementation a pris successivement la forme, selon le département concerné et l'époque, de cartes de risques naturels en application de l'article R111-3 du code de l'urbanisme, de PZEA, PZERN, Projets d'Intérêt Général (PIG), de Plans d'Exposition aux Risques naturels prévisibles (PER), etc... La plupart de ces documents sont remplacés aujourd'hui par les Plans de Prévention des Risques naturels prévisibles (PPR) considérés de par leur

poids réglementaire et leur niveau de réalisation technique comme la forme la plus aboutie en matière de plan de prévention.

Quelles règles définir pour la Nouvelle-Calédonie où un tel dispositif n'existe pas ?

Toute étude de risques naturels présente deux phases :

- **la première est technique** et correspond à l'inventaire des phénomènes et à la réalisation de la cartographie des aléas (probabilité de survenance du phénomène).
- **la deuxième est administrative et réglementaire** et se pose plus en terme de réflexion d'aménagements. **Elle est donc politique** et considère les moyens de se protéger des phénomènes.

Si la première phase présente parfois des difficultés techniques de réalisation par manque d'informations, difficulté d'évaluation de la probabilité, faible recul historique, c'est à dire en fait par manque de représentativité statistique, elle arrive à son terme la plupart du temps quitte à présenter quelques imperfections. Il n'en va pas de même pour la phase réglementaire qui entraîne obligatoirement une concertation et une négociation au niveau des collectivités et constitue une phase délicate avec ses dimensions socio-économiques. Cette dernière phase est cependant essentielle car, en théorie, il est toujours possible de se protéger contre un phénomène. Mais à quel prix ? Seul le coût des protections, leur caractère "raisonnable", l'incidence sur la gestion de la collectivité permettent de trancher. Il s'agit donc en fait de "négocier le risque acceptable" vis à vis de tel ou tel aménagement et, pour aboutir dans une telle négociation, il importe que les limites "techniques" des secteurs soient bien explicitées par les techniciens puis reconnues et acceptées par les décideurs.

Le retard constaté en métropole dans la mise en œuvre des PER puis des PPR alors que la fréquence des catastrophes ne baissait pas, bien au contraire, a mis en évidence la nécessité de garder un éventail législatif le plus ouvert possible, prenant en compte les différentes situations locales et les enjeux pour gagner en efficacité et en réalisme en matière de prévention.

A l'heure actuelle deux choix sont possibles :

5.2. LE PPR STRICTO SENSU

Les Plans de Prévention des Risques naturels prévisibles, ou P.P.R., ont été mis en place par une loi récente (loi n°95-101 du 2 février 1995 dite "loi Barnier", décret n°95-1089 du 5 octobre 1995) pour simplifier l'affichage du risque, en remplaçant les différents documents mis en place jusqu'alors. Les PPR peuvent "interdire tout type de construction, d'ouvrage, d'aménagement ou d'exploitation agricole, forestière, artisanale, commerciale ou industrielle ou [...] prescrire les conditions dans lesquelles ils doivent être réalisés, utilisés ou exploités" (Art. 40-1 de la loi 87-565 modifiée par la loi 95-101). Il s'agit donc d'un outil puissant, capable de réglementer toute occupation humaine si nécessaire.

A titre d'exemple, dans une zone où des mouvements de terrains sont connus, on peut être soumis aux réglementations suivantes :

- Le risque est fort : toute construction ou aménagement sont interdits, sauf exceptions dûment justifiées et sécurisées (bâtiments sans occupation humaine, pylônes, routes...).

- Le risque est moyen ou modéré : une étude géotechnique est exigée avant toute construction, et diverses dispositions peuvent être prescrites au constructeur.

- Le risque est faible, mais les terrains sont sensibles : quelques mesures d'urbanisme (absence d'infiltration d'eau dans les sols, etc.) sont prescrites, et l'administration recommande une étude de sol à l'échelle d'une parcelle, qui relève alors de la responsabilité du constructeur. Dans ce dernier cas le pétitionnaire peut passer outre à la recommandation, mais prend un grand risque vis à vis de ses assurances qui pourraient bien en cas de sinistre évoquer l'absence d'étude, alors que le risque (même faible) était notoire, pour en refuser la prise en charge.

Après élaboration dans les formes définies par la loi (prescription par le Préfet, élaboration par un service de l'État, consultations, enquête publique puis approbation par le Préfet), le P.P.R. vaut servitude d'utilité publique, et doit être annexé au Plan d'Occupation des Sols (POS). Les dispositions du PPR peuvent être, après consultation des maires concernés, immédiatement rendues opposables par le représentant de l'État dans le département. Cette décision est rendue publique. A défaut de mise en conformité, la réalisation des mesures peut être exécutée aux frais du propriétaire.

A côté de cette procédure lourde mais puissante qui n'a jamais été transposée en Nouvelle-Calédonie, subsiste la possibilité d'intégrer directement des réglementations concernant les risques naturels dans les POS, généralement par le biais d'une carte des aléas.

5.3. LA CARTE DES ALEAS ANNEXE AU POS ET LE "PORTE A CONNAISSANCE" :

Dans le cadre de l'élaboration ou de la révision d'un POS ou d'un document d'urbanisme en tenant lieu, l'État dispose des moyens de droit commun du Code de l'urbanisme que sont notamment le contrôle des permis de construire au regard de la sécurité publique en application des articles R. 111-2 et 3 du Code de l'urbanisme.

L'article R. 111-3 du code de l'urbanisme (en métropole) stipule que "la construction sur des terrains exposés à un risque, tel que: inondation, érosion, affaissement, éboulement, avalanches, peut, si elle est autorisée, être subordonnée à des conditions spéciales. Ces terrains sont délimités par arrêté préfectoral pris après consultation des services dans les formes prévues par le décret n° 59-701 du 6 juin".

Pour ce faire, il est possible d'annexer au POS une carte des aléas qui permet de prendre en compte la notion de risque naturel. Il s'agit là d'un mode de fonctionnement plus facile à mettre en œuvre qu'un PPR, mais un peu plus limité dans ses possibilités réglementaires : Un POS ne peut pas en effet imposer de dispositions constructives (par exemple étude de sol), qui restent de la responsabilité du maître d'œuvre.

Les cartes des aléas jointes au POS ne sont donc pas en elles-mêmes des documents réglementaires. Sur le plan juridique, il s'agit d'un simple "porté à connaissance" de l'État ou d'une initiative de la commune, au moment de l'élaboration ou de la révision du POS : il n'y a pas de phase administrative pour ce document, contrairement au P.P.R. et l'État doit choisir entre une interdiction pure et simple de construire (par principe de précaution), et une simple recommandation de ces dispositions, dont l'application reste sous la responsabilité du pétitionnaire.

Cependant, la réalisation de la carte des aléas et la procédure du porté à connaissance présentent l'avantage de mettre l'information disponible à disposition du public, de faciliter la communication de documents qui, à défaut d'apporter une réflexion et des solutions définitives aux problèmes d'instabilité, réunissent les éléments de connaissance indiscutables disponibles.

Tout le problème est de savoir où s'arrêtent les connaissances indiscutables et comment elles peuvent être rendues disponibles. Rappeler un événement survenu dans le passé ou aider à la lecture d'une carte géologique sont choses assez faciles, mais formuler, sur des bases insuffisantes, un diagnostic lourd de conséquences et de responsabilités est un exercice beaucoup plus redoutable.

La procédure du porté à connaissance est donc généralement engagée dans un premier temps à des échelles intéressantes (1/25 000) surtout pour mettre en lumière les zones où des études plus complètes doivent être entreprises. C'est l'échelle des "unités ou bassins de risque", ensemble régional homogène présentant une unité au plan géologique, géomorphologique ou économique (bassin versant, tronçon de vallée, région naturelle) soumis à un ou plusieurs phénomènes naturels récurrents. Par la suite des études à l'échelle communale (1/10 000) sont entreprises sur les zones jugées les plus sensibles.

5.4. QUELLES SOLUTIONS POUR LA NOUVELLE-CALEDONIE ?

En Nouvelle-Calédonie, trois procédures contenant des éléments spécifiques en matière de risque naturel régissent la construction et l'urbanisme (Dinger et Tachker, 1989) et peuvent être utilisées dans la prévention des risques naturels.

Au niveau des Plans d'Urbanisme Directeur (PUD), le plan comporte un "règlement qui fixe les règles et servitudes relatives à l'utilisation du sol, justifiées par les nécessités locales ou générales. Ces servitudes peuvent, le cas échéant, comporter l'interdiction de construire" (Délibération n° 74 du 11 mars 1959) après enquête publique. L'autorité compétente est actuellement la Province et la municipalité concernée.

Au niveau des lotissements, l'exécutif compétent "peut interdire le groupe d'habitations ou le lotissement si le terrain est impropre à l'habitation" (décret n° 51 – 1135 du 21 septembre 1951, alinéas 3 et 4).

Au niveau des permis de construire (compétences municipales), la délibération n°19 du 8 juin 1973 prévoit dans son article 16 que "le permis de construire peut être refusé ou n'être accordé sous réserve de l'observation de prescriptions spéciales si les constructions, par leur situation ou leurs dimensions, sont de nature à porter atteinte à la salubrité ou à la sécurité publique". L'article 17 stipule que "la construction sur des

terrains exposés à un risque naturel tel que : inondation, érosion, affaissement, éboulement, peut, si elle est autorisée, être subordonnée à des conditions spéciales".

La procédure du lotissement précède toujours la délivrance des permis de construire. Les articles 16 et 17 relatifs au permis de construire sont directement inspirés des articles R111-2 et R111-3 du code de l'urbanisme métropolitain. Le 2ème alinéa de l'article R111-3 métropolitain, n'a cependant pas été repris dans la réglementation du Territoire. Il s'agit de la procédure d'approbation des zonages de risques. Ces articles 16 et 17 permettraient de prendre en compte tant les effets induits (article 16) que les effets subis (article 17) en matière de risques naturels. Leur utilisation ne semble pas encore fréquente, notamment pour refuser les autorisations sollicitées.

Ajoutons enfin que la réglementation sur les permis de construire ne s'applique qu'en zone urbaine. Les constructions en zones rurales non agglomérées ne sont donc pas soumises à autorisation.

En Nouvelle-Calédonie, ces éléments de procédure doivent permettre de prendre en compte "a minima" les risques naturels notamment dans les PUD. Mieux vaut un règlement imparfait mais utilisé, reconnu et adopté qu'une étude exhaustive mais inutilisée. Nombreux sont les exemples métropolitains de cartographies thématiques ignorées des collectivités locales. A l'opposé, l'imperfection des observations ne doit jamais être prétexte à ne pas transformer le document technique en un document d'aménagement. Enfin, l'expérience montre qu'une cartographie des risques naturels qui ne reposerait pas sur une concertation, menée tout au long de la procédure, a peu de chances d'aller à son terme administratif ou tout au moins d'être respectée dans les décisions quotidiennes d'aménagement.

En l'absence de législation du type PPR en Nouvelle-Calédonie, il semble que la procédure de la "carte des aléas" jointe aux PUD ou au POS, à défaut d'offrir une solution absolue, peut apporter des réponses satisfaisantes à la prise en compte des risques dans l'aménagement.

6. Terminologie des études de risque : Définitions et documents

Une étude de risque obéit à une démarche désormais bien établie, utilise des termes précis et produit différents documents de natures bien déterminées. Cette codification a été formalisée dans un certain nombre de dossiers édités par les Ministères concernés (Aménagement et Équipement) et le vocabulaire ainsi défini est désormais employé couramment dans les procédures des Plans de Prévention des Risques métropolitains (cf. Bibliographie, Glossaire des termes techniques). Il n'est pas inutile d'en faire un bref rappel. Il est également indispensable de s'entendre sur la définition des termes les plus couramment utilisés. En effet, l'expérience révèle que les mots recouvrent quelquefois des significations très éloignées. Les recherches entreprises montrent malheureusement qu'il n'existe pas, dans la littérature, de terminologie claire et précise, qui fasse l'unanimité des experts des différents risques. La terminologie de référence proposée ici est établie à partir des principales définitions existantes et de l'usage courant constaté.

6.1. LA NOTION D'ALEA ET DE RISQUE

Le **risque R** est classiquement défini de manière théorique comme le produit de l'**aléa naturel A** par les **enjeux ou plus exactement leur vulnérabilité V**.

$$\text{Risque} = \text{Aléa} \times \text{Vulnérabilité}$$

Selon une telle équation, un aléa très important en plein désert entraîne un risque nul, ou à l'opposé un aléa modeste peut entraîner un risque énorme dans une zone à fort enjeu (barrage, installations classées, forte densité urbaine). Le **risque** peut être également défini de manière plus complexe comme une **mesure probabilisée de l'impact d'un phénomène sur le milieu anthropisé**. En termes probabilistes et pour un site ou une région donnée, il représente l'espérance mathématique des pertes au cours d'une période de référence. **L'Aléa naturel** fait donc référence aux phénomènes (par exemple tel type de glissement de terrain) et c'est la présence d'enjeux (biens ou personnes) qui crée les conditions du risque.

L'aléa naturel A est défini à son tour comme la **probabilité d'occurrence d'un phénomène**, ou plus précisément comme la **probabilité pour qu'au cours de la période de référence, un événement atteigne ou dépasse une certaine intensité** sur le site étudié. On définit par exemple, dans le cas des inondations, les limites des crues quinquennale, décennale, etc., sachant bien que la crue décennale peut se produire deux années consécutives. Cet aspect probabiliste est encore plus pesant dans le cas des mouvements de terrain. Aucun phénomène ne ressemble au précédent. Si dans le cas des inondations, la modélisation du phénomène est relativement plus facile, dans le cas des mouvements de terrain et selon le type concerné, une beaucoup plus grande incertitude existe.

Évaluer l'aléa revient donc à calculer, en un site donné, la fonction de répartition des paramètres caractéristiques de l'événement. Pour caractériser l'aléa, des facteurs de plusieurs types sont à prendre en compte. Il s'agit des facteurs permanents

indépendants des notions temporelles, à l'échelle humaine (topographie, géologie, géomorphologie dynamique...) et des facteurs temporels, présents ou passés, ponctuels dans le temps (instabilités historiques, géomorphologie...). Plus précisément pour les mouvements de terrain on distingue :

- les facteurs **permanents** ou **intrinsèques** tels que la nature du sol et du sous-sol, c'est pourquoi on parle souvent de **facteurs ou risques géologiques**,
- les facteurs **aggravants** tels que les interventions humaines (feux de brousse, aménagements sans précautions), ou encore la pente,
- les facteurs **déclenchants** tels que les cyclones et les précipitations qui les accompagnent, ou encore les séismes.

V est la vulnérabilité du site. Dans un désert parfait, la vulnérabilité est nulle, et par conséquent, le risque est nul, même si l'aléa ne l'est pas. La vulnérabilité est un facteur complexe qui présente des termes qui sont de deux natures différentes. Les uns sont de nature physique (exprimables, par exemple, en fonction de l'intensité de l'événement), comme la stabilité des constructions en réponse aux mouvements du sol, alors que les autres sont de nature socio-économique, tels que la perception du risque par la population ou l'organisation de la gestion des crises.

L'aléa relève du domaine technique et de l'expertise. S'agissant de glissements de terrain, un géologue pourra l'appréhender. S'agissant d'inondation un hydraulicien pourra l'évaluer. **La vulnérabilité relève du domaine de l'aménageur, l'appréciation du risque en fin de compte revient au décideur et au politique.**

6.2. LES DIFFERENTS DOCUMENTS ELABORES DANS UNE ETUDE DE RISQUE

6.2.1. La carte géologique et des formations superficielles

Le facteur intrinsèque et principal des aléas concernés par cette étude est de nature géologique. Une **analyse géologique détaillée** du site est donc un préalable nécessaire à toute étude de risque. Elle met l'accent sur **la géologie des formations superficielles et d'altération**, siège de tous les phénomènes d'instabilité. Dans bien des cas, les documents géologiques existants ne prennent que peu en compte ces types de formations. Il est donc souvent nécessaire de pallier cette carence par des levés actualisés à différentes échelles. Ne pouvant matériellement pas disposer d'une information en continu, le géologue est alors amené à trouver une règle de répartition des formations superficielles et d'altération qui lui permet à partir de points clefs isolés de généraliser à l'ensemble cartographié.

Dans le cas spécifique de la Nouvelle-Calédonie, les cartes géologiques sont souvent anciennes et peu précises. Quant à la cartographie des formations superficielles et d'altération elle est à chaque étude entièrement à réaliser.

6.2.2. La carte informative des phénomènes

La connaissance des phénomènes historiques, passés ou encore actifs constitue une étape essentielle et incontournable pour la bonne compréhension des phénomènes. Il

est donc indispensable dans toute étude de risque de réaliser une sorte d'état des lieux des phénomènes dans la zone considérée, et de collecter un maximum d'occurrences de phénomènes, de les classer, les hiérarchiser et en établir une typologie dans leur cadre géologique, géomorphologique et physiographique. Cet étape se fait à la fois par des observations de terrain, par une enquête, menée auprès des habitants, de la municipalité, des services administratifs, par la compilation d'archives, d'études et de cartes déjà réalisées, de photographies aériennes... Chaque phénomène cartographié (visible sur le terrain ou historique) est relié à une fiche descriptive et est associé à une symbologie exprimant sa nature et son intensité. Une bonne compréhension des phénomènes concernés est un préalable nécessaire à l'élaboration d'une telle carte.

Dans le cas spécifique de la Nouvelle-Calédonie, le recul historique est faible, les archives rarissimes et les études presque inexistantes. L'extension de l'urbanisation et l'accélération du développement économique ne datant que d'une vingtaine d'années, la confrontation aux phénomènes de mouvements de terrain est toute récente. Il est donc difficile d'apprécier l'évolution des phénomènes et de les quantifier en terme de fréquence ou d'intensité. L'un des outils fondamentaux pour réaliser le suivi chronique des phénomènes d'instabilité dans ce contexte, reste la photographie aérienne. Le pays est couvert entièrement par trois jeux de photographies "standards" (1942, 1954 et 1976). Des couvertures partielles près des zones urbaines ou sur les massifs miniers permettent de faire des observations complémentaires.

Les images satellitales telles que SPOT ou LANDSAT sont de résolution trop faible pour être directement exploitées. Elles ne sont utilisées que pour éclaircir le contexte géologique à grande échelle, lorsque les données de base sont par trop fragmentaires. Les nouvelles images satellitales haute résolution (Quick Bird ou Ikonos par exemple de résolution inférieure au mètre) pourraient s'avérer très intéressantes.

Sur tous les documents photographiques, la méthode analytique est essentiellement visuelle. Les désordres se manifestent par des zones claires correspondants à la destruction de la végétation, qu'il s'agisse de zones de départ (arrachements), de transport (ravines) ou d'atterrissement (alluvions). Mais les échelles sont variables (1/20 000 à 1/40 000, 1/8 000 dans le meilleur des cas). Il en est de même pour les angles de prises de vue et d'éclairage. Parfois des zones d'ombre empêchent toute observation. Les contrastes saisonniers sur la végétation et les contrastes hydriques sur les sols, fonctions de l'abondance et de la proximité dans le temps des précipitations pendant la période précédant la prise de vue, introduisent aussi une grande hétérogénéité dans la donnée. Enfin, le pas de temps procuré par ces documents est assez disparate. L'intervalle de temps le plus important (de 54 à 76) correspond d'ailleurs à une période critique pour le suivi de l'érosion, puisqu'il recouvre la période du "boom" du nickel qui a duré de 68 à 71. Les premières observations antérieures à cette période de référence remontent à 14 ans et les prochaines observations disponibles sont de cinq années postérieures. A partir des années 80, les prises de vue deviennent plus fréquentes.

La périodicité des documents disponibles est également à comparer avec la fréquence des événements pluvieux anormaux déclencheurs des mouvements de terrains les plus remarquables. La région de Nouméa a été affectée par les cyclones Béatrice en 1954, Colleen en 1969, Alison en 1979, Anne en 1988, soit des intervalles de 10 à 15 ans.

Compte tenu de toutes ces précisions sur la donnée on comprend que la méthode présente plusieurs limitations. L'échantillonnage dans le temps est très ponctuel. En outre, s'il est possible de mettre en évidence les changements les plus flagrants tels qu'apparitions, cicatrisations ou aggravations spectaculaires et importantes, il n'est en revanche guère réaliste de vouloir mesurer précisément l'évolution des phénomènes. Pour donner un exemple, le déplacement d'un front d'érosion de 10 mètres (ce qui est considérable au regard des phénomènes étudiés) sur un document à l'échelle moyenne du 1/20 000 se traduira par un écart de 0.5 millimètres sur le cliché. La comparaison avec un cliché similaire, d'une autre époque, pris sous un angle et dans des conditions d'éclairage différents ne peut pas être valide avec de tels paramètres. Tout au plus pourra-t-on mettre en évidence des tendances et des modifications manifestes.

Les résultats obtenus par l'étude rétrospective des photographies aériennes pour suivre l'évolution des désordres dans le milieu naturel et éventuellement l'influence des aménagements humains sur celui-ci sont mitigés. L'outil a ses limites mais faute d'être le meilleur, c'est en tout cas le seul qui soit capable d'offrir une vision sur l'état naturel passé. La perception offerte par les anciennes photographies aériennes tend cependant à minimiser les désordres de petites et moyennes tailles. Elle ne permet pas d'estimer les phénomènes dynamiques tels que l'accroissement du transport des sédiments (fins ou grossiers). Elle offre par contre une bonne réponse pour ce qui a trait à la morphologie et aux changements de formes pour peu que ceux-ci soient d'une ampleur appréciable par rapport à l'échelle du document.

6.2.3. La carte des aléas

La carte informative des phénomènes naturels permet d'évaluer la fréquence, la sensibilité des secteurs géographiques ou des configurations géologiques concernées, et de déterminer les facteurs naturels ou anthropiques jouant un quelconque rôle dans ces phénomènes. Mais au-delà de l'inventaire des phénomènes existants, il est nécessaire de délimiter des zones où les mouvements peuvent survenir, les secteurs où ils sont potentiels. Il s'agit alors d'une démarche prospective pour établir une carte tenant compte des phénomènes prévisibles et pas seulement visibles. Une telle carte est qualifiée de "carte des aléas". Chaque famille de phénomène y est représentée par une couleur différente, chaque type de phénomène par un figuré et les **niveaux d'aléas** (fort, moyen, faible et nul) sont représentés par des tons de couleurs différentes.

La carte des aléas localise et hiérarchise les zones exposées à des phénomènes potentiels. Cette carte interprétative traduit la probabilité d'occurrence et d'intensité des phénomènes. Elle intègre donc par nature une certaine marge d'incertitude. La carte d'aléas doit amener à classer en zone d'aléa, des secteurs où aucun désordre n'est encore intervenu jusqu'alors, sur la seule présomption de la sensibilité des terrains. La délimitation des secteurs où peuvent être définis les aléas procède d'une approche géologique classique. Il s'agit pour chaque type de mouvements prévisibles, d'identifier les secteurs géologiquement homogènes où ces mouvements peuvent survenir.

Dans le cas du risque d'inondation, on considère les zones inondables par les crues décennales, cinquantennales, centennales, etc., car les modélisations hydrologiques permettent de déterminer les effets qu'aurait une telle crue sans l'avoir observée. On

peut alors affirmer que des terrains qui n'ont pas été inondés dans un passé récent, et que la mémoire collective considère comme épargnés, sont inondables.

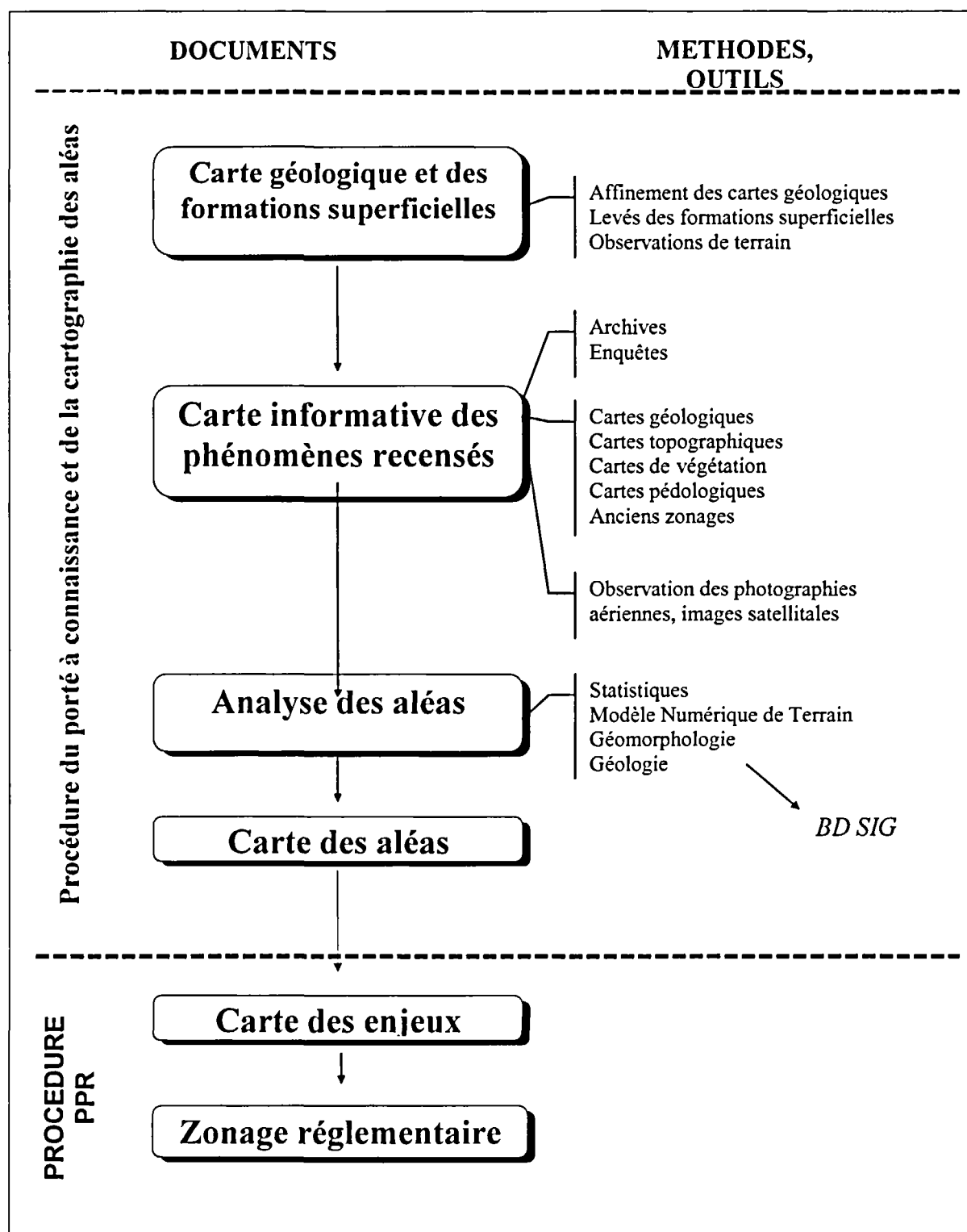


Fig. 12 – Les différents stades d'une étude de risque

En matière de mouvements de terrains, l'approche est plus difficile. En effet ces phénomènes dépendent souvent de facteurs aggravants dont certains relèvent d'une analyse probabiliste (variations climatiques courtes, sismicité) et d'autres d'un pur déterminisme (actions humaines) (Masure, 1994). A défaut de pouvoir accéder à une évaluation quantitative, en terme de fréquence ou de période de retour, l'estimation de l'occurrence d'un mouvement de terrain donné repose sur la notion de prédisposition du site à reproduire un événement.

En dépit de cette difficulté inhérente, les méthodes d'élaboration du zonage ont évolué dans le sens de la recherche d'une plus grande objectivité et d'une meilleure quantification dans l'évaluation du rôle respectif de chacun des facteurs d'instabilité retenu, non sans entraîner un alourdissement des moyens et des coûts de confection des cartes. Elles s'appuient aujourd'hui massivement sur l'utilisation des outils SIG, de traitement de données géoréférencées et intègrent de nombreux paramètres : géologiques, géotechniques, hydrogéologiques, géomorphologiques, topographiques, etc.

Ces facteurs de l'instabilité des versants sont choisis, codés, leur "poids" est évalué selon leurs contributions relatives, estimées ou attendues, dans les causes de rupture. Les cartes d'aléas sont obtenues par croisement ou superposition de ces facteurs.

On est amené parfois à définir un "**aléas de référence**" pour un type d'instabilité donné, afin de servir de base de comparaison dans la zonation de type faible - moyen - fort. En métropole, l'aléa de référence est considéré comme vraisemblable au moins dans le délai du siècle (fréquence de retour centennale). Ce recul temporel n'étant pas disponible sur le Territoire, c'est le plus fort événement historique connu, d'un type donné, dans la zone considérée qui peut être tenu comme aléa de référence en Nouvelle-Calédonie.

6.2.4. La carte des enjeux et d'appréciation des enjeux

En métropole, ce document n'est élaboré que dans le cadre des Plans de Prévention des Risques (PPR). L'appréciation des enjeux existants et futurs permet d'orienter les prescriptions réglementaires. Cette analyse est réalisée principalement à partir de la superposition de la carte des aléas et celle de l'occupation des sols.

6.2.5. Le plan de zonage ou carte réglementaire

Cette cartographie permettra "in fine" de classer les différents terrains dans le **zonage réglementaire**. La transformation de la **carte des aléas** en **carte de zonage réglementaire** n'est pas une pure et simple transposition. Elle résulte d'une concertation entre les techniciens et les décideurs, et fait l'objet d'une négociation au cours de laquelle les différents aléas peuvent être appréciés diversement et pondérés, les limites déplacées en fonction des enjeux, des contraintes économiques ou du bâti existant. Il est en effet théoriquement souvent possible de se prémunir contre un risque. Mais à quel prix ?

Il n'appartient pas au technicien de l'aléa de décider de quelle manière doit être classée telle ou telle zone, ou si celle-ci est constructible ou pas. Pas plus qu'il ne doit

préconiser tel ou tel règlement. Ce travail relève de l'organisme instructeur. Il est par contre du devoir du technicien de l'aléa de bien expliciter son analyse et ses limites afin d'aider au mieux l'organisme instructeur dans sa décision.

C'est selon cette procédure que sont établies les cartes de zonage des Plans de Prévention des Risques assorties d'un règlement, en métropole. Lorsque le dispositif PPR n'existe pas comme en Nouvelle-Calédonie, une autre façon de prendre en compte la carte d'aléa est de modifier (à l'occasion d'une révision par exemple) le Plan d'Urbanisme Directeur (PUD) de la commune concernée. Le plan de zonage a pour but de prévenir le risque en réglementant l'occupation et l'utilisation des sols. Les zones sont délimitées en confrontant la carte des aléas à l'appréciation des enjeux. Un règlement qui se rapporte au zonage par zone est élaboré simultanément.

Ce document à l'échelle cadastrale fait apparaître un zonage détaillé des contraintes appliquées à l'urbanisation allant du non-constructible à la construction libre, en passant par un ensemble de recommandations et de prescriptions décrites dans des fiches spécifiques rattachées à chaque zone. L'ensemble de ces mesures constitue le règlement.

7. Terminologie, définition et typologie des mouvements de terrains

Le géologue définit les mouvements de terrain comme une manifestation d'instabilité de la partie superficielle de la croûte terrestre, sous l'effet de la pesanteur et des agents de l'érosion. Ils représentent pour l'homme des signes perceptibles de l'évolution géologique. Les mouvements de terrain présentent une grande variété dans leur nature et leur comportement. Il convient donc de définir avec le plus de rigueur possible, les phénomènes concernés dans leur acception actuelle, avant de les replacer et d'adapter la terminologie conventionnelle au cadre local néo-calédonien.

La plupart des processus physiques gouvernant les mouvements de terrain sont des mécanismes purement gravitaires. On peut distinguer deux grandes classes :

- les processus de transport liés uniquement à l'existence d'une contrainte gravitaire qui correspondent aux **mouvements de terrain** (fluage, solifluxion, glissements, coulées, etc.). Ceux-ci se déclenchent lorsque les moments moteurs de la contrainte gravitaire dépassent les moments résistants du matériau. Cet état de fait survient soit lorsqu'il y a augmentation de la contrainte gravitaire (surcharge, augmentation de la pente), soit diminution de la résistance des matériaux (altération, saturation en eaux).
- les transferts de matières par le biais de l'eau, toujours sous l'effet de la gravité. Ceci inclus aussi bien les mécanismes d'érosion sur versants que les processus d'**érosion – transport dans les réseaux de drainage**.

Dans les environnements montagneux, tels que ceux de la Nouvelle-Calédonie, ces deux types de processus correspondent à deux domaines de morphologie et de fonctionnement différents : le domaine des versants et le domaine des torrents.

7.1. LE DOMAINE DES VERSANTS

7.1.1. Érosion superficielle

Ce phénomène résulte du ruissellement des eaux de précipitation sur des matériaux de faible cohésion, les sols et la zone d'altération superficielle principalement. Le ruissellement en nappe décape les horizons de surface et prépare le terrain à un ruissellement plus concentré par rigoles, puis ravines. A terme on a deux conséquences :

- A l'amont une perte en sol (et en végétation), une ruine du paysage, une fragilisation du substrat, une modification de la distribution hydrographique, une concentration des débits dans quelques exutoires.
 - A l'aval, une contribution importante en apport sédimentaire, généralement fins.
- L'érosion superficielle fait souvent le lit des phénomènes d'instabilité plus importants.

7.1.2. Les chutes de blocs, éboulements et écroulements ("rock fall, avalanche, rock slide"):

Ces phénomènes mobilisent des blocs de roches homogènes situés au-dessus d'une zone de pente (forte, en général $> 40^\circ$) où ils partent en chute libre. Les chutes de blocs concernent des éléments isolés, alors qu'éboulements et écroulements concernent des masses respectivement plus importantes, le mécanisme demeurant le même : **chute gravitaire dans l'air, l'eau n'étant pas impliquée dans le transport.**

On utilise généralement le terme de **chute de blocs** pour des pierres (volume inférieur à 1 dm^3) ou des blocs (volume supérieur à 1 dm^3) qui tombent isolément ou en groupe, et on lui substitue celui d'écroulement quand il s'agit de la chute soudaine d'un volume rocheux important à très important (milliers de m^3 à dizaines voire centaines de millions de m^3) qui, se détachant d'une paroi ou d'un versant très raide, tombe en se désorganisant. La fragmentation de la masse est totale et produit une accumulation de blocs dont l'épaisseur peut se chiffrer en dizaines de mètres (fonction de la morphologie du réceptacle). Pour les très grands volumes (10 à 10^6 m^3 ou plus) et en fonction de la morphologie des lieux, le mouvement peut s'apparenter à un flux de blocs susceptible de parcourir de longues distances. On parle alors d'**écroulement rocheux catastrophique**.

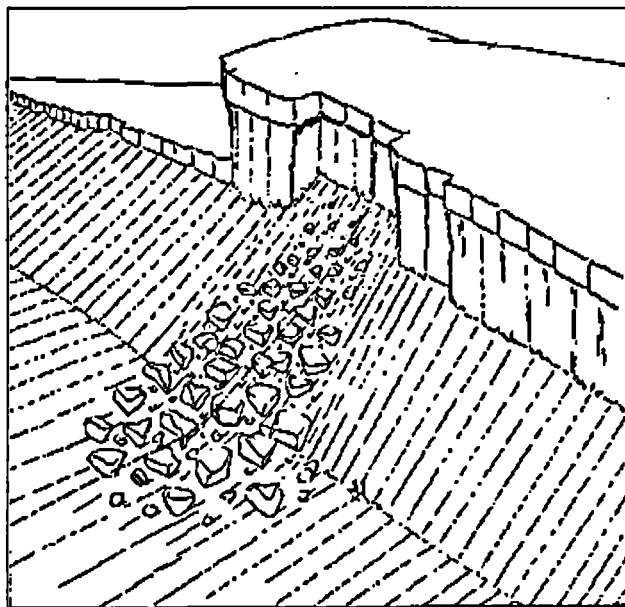


Fig. 13 – Représentation schématique de l'aléa "chute de blocs"

Le terme d'**écroulement** peut être aussi appliqué à l'accumulation chaotique elle-même (et non au phénomène), appelée aussi parfois "éboulement", pour la distinguer des **éboulis**, plus organisés, à pente régulière, constitués de fragments détachés, qui tombent régulièrement et sporadiquement.

De la chute de bloc isolée jusqu'à l'éroulement massif, l'aspect du phénomène varie selon le volume en jeu et son morcellement plus ou moins immédiat :

- un volume initial limité donnera une avalanche de blocs sans structure particulière avec classement, les plus gros en bas comme dans le cas des éboulis.
- dans le cas de volumes importants ou très importants on constate souvent que les gros blocs tiennent à la surface, reposant sur des matériaux plus fins.

La cause principale de ce type d'aléa est à rechercher dans le découpage des masses rocheuses en blocs de formes diverses par les fractures affectant la formation concernée. Le degré de fracturation de la roche détermine la maille de libération des blocs. Le réseau de fracturation peut comporter des familles d'orientation plus ou moins parallèles au versant ou déterminant des coins rocheux (dièdres) dont l'arête est inclinée vers la vallée.

Chutes de blocs et éroulement peuvent se produire dans des environnements variés tels que falaises littorales, rives abruptes d'une rivière, rebord de plateau, escarpements rocheux en montagne, et même ancienne carrière ou grande tranchée de route. Les topographies en falaise et talus sont typiquement le siège de ces phénomènes. On a affaire généralement à des roches massives couronnant des assises moins résistantes (barre calcaire sur talus marneux, niveau de lave surmontant des tufs).

Le détachement se produit à partir d'une paroi rocheuse assez redressée pour que le mouvement initial soit une chute libre. Le départ des blocs peut être déclenché par un affouillement de la base de la falaise par l'eau (torrent, rivière, mer), par un tassement différentiel (foirage) de couches tendres inférieures supportant une masse rigide fracturée, ou encore par la pression hydrostatique interstitielle au sein des discontinuités, voire par la croissance de racines.

Il peut y avoir chute libre au départ, ou roulement, puis une série de rebonds de hauteurs décroissantes. La taille des blocs est de dimensions très variables (du caillou à la centaine de m³). Le gradient de pente et la morphologie de la zone de réception déterminent la trajectoire. Éventuellement des blocs déjà immobilisés peuvent être remis en mouvement. La distance parcourue varie beaucoup en fonction de la taille des blocs, de la raideur de la pente, du développement de la pente où se produit le premier impact, de l'amortissement aux chocs...

C'est un phénomène de vitesse rapide (vitesses généralement > 100 km/h) donc dangereux. Il n'y a pas de signes prémonitoires. Des modélisations trajectographiques peuvent permettre de prévoir les zones d'impact.

Concernant les chutes de blocs, les moyens usuels de prévention et de protection varient beaucoup selon la taille des éléments. On citera essentiellement :

- l'élimination des éléments présentant un risque (ou purge) – taille maxi des blocs de l'ordre du m³.
- la stabilisation de la masse instable à l'aide de soutènements divers,
- la réalisation d'ouvrages destinés au freinage, à la déviation ou à l'interception des blocs, tels que des grillages de protection, des écrans et pièges à blocs.

Les plus grands écroulements mettent en œuvre des énergies le plus souvent sans commune mesure avec quelque moyen de protection que ce soit.

7.1.3. Les glissements de terrain :

C'est vraisemblablement la catégorie de mouvements qui offre la plus grande variété. Ce phénomène qui affecte des matériaux de faible cohésion à différentes échelles, consiste en une rupture par cisaillement le long d'une surface individualisée qui correspond souvent à une discontinuité préexistante et au déplacement par gravité de la masse de terrain ainsi désolidarisée de son substrat.

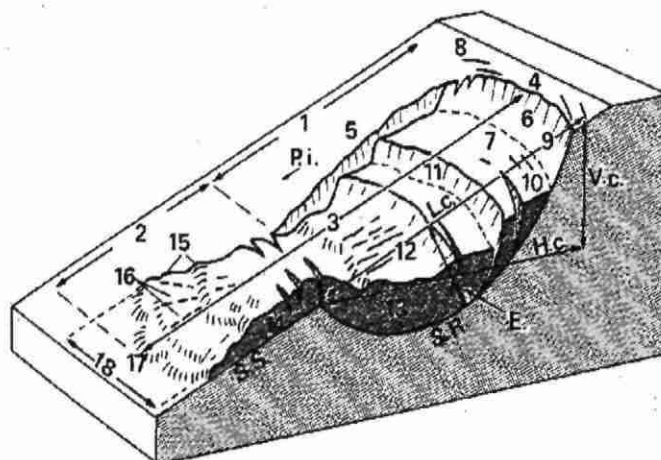


Fig. 14 – Eléments morphologiques d'un glissement de terrain rotationnel (d'après D.J. Varnes, 1978) :

1 – zone de départ. 2 – zone d'accumulation. 4 – niche d'arrachement. 6 – escarpement principal. 8 – fissures de couronnes. 11 – escarpement secondaire. 12 – zones de fissures longitudinales. 16 – bourrelets d'accumulation frontale. Sr – surface de rupture.

On distingue une partie amont concave ou niche d'arrachement avec des crevasses satellites à l'amont, une partie intermédiaire où les phénomènes de transport prévalent avec des figures linéaires, une partie aval convexe avec des bourrelets d'accumulation. Les glissements sont fréquemment associés à des sources.

Une distinction s'opère le plus souvent selon la géométrie de la surface de glissement.

Dans le cas des **glissement rotationnels** ("rotational slip, slump") (généralement en terrains meubles et roches homogènes, isotropes, à faible cohésion). Dans le cas théorique idéal, la surface de rupture est une portion de sphère (c'est le mode de rupture qui nécessite l'énergie la plus faible) qui se prête très bien à la modélisation. La niche d'arrachement est circulaire de même que le profil de la surface de rupture dont la concavité est tournée vers le haut, à pente forte vers le haut du versant, et aplatie vers le bas. Le corps principal de la masse détachée subit donc une rotation vers l'amont dont le centre est situé au-dessus de la zone de désordres. C'est ce qui explique la présence de surfaces à contre-pente dans la partie aval. La zone de départ

est nette mais le bourrelet frontal plus ou moins bien marqué. Le remaniement interne dépend de la nature des terrains et de l'importance du déplacement. Il est généralement faible dans la zone de la rupture "rotationnelle" s.str., assez important au-delà du tiers aval. A l'amont, la masse glissée, peut être découpée en une série de gradins dans un glissement rotationnel multiple. Il y a fréquemment des crevasses et fissures de tension à l'amont de la niche d'arrachement, zones de ruptures potentielles. A l'aval, la masse glissée déborde au-delà de l'extrémité redressée de la surface de rupture, occasionnant d'abord un replat, ou un bourrelet, ventru, bosselé et sillonné de crevasses allongées perpendiculairement à la pente, puis constituant une langue qui s'étale et progresse plus ou moins vers l'aval. Il y a toujours une tendance régressive vers l'amont selon un mécanisme rotationnel répétitif. Beaucoup de glissements naturels s'amorcent selon un mécanisme rotationnel, puis évoluent selon des mécanismes complexes ou hybrides, où la surface sphérique est relayée vers l'aval par une surface plane.

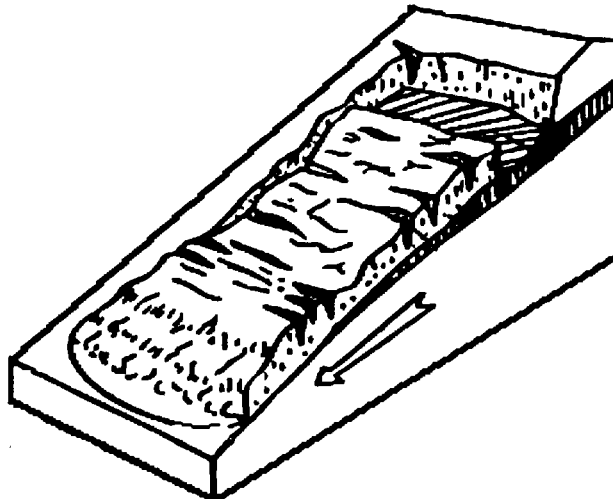


Fig. 15 – Représentation schématique d'un glissement de terrain translationnel

Dans le cas des **glissements translationnels** ("translational slide") ou glissements plans (en milieu rocheux surtout), qui sont beaucoup plus courants que les glissements rotationnels, les mouvements se produisent au long d'une surface sensiblement plane (couche, surface tectonique ou toute autre anisotropie structurale) de pendage conforme à la pente, entraînant une dislocation très variable de la masse glissée. Celle-ci peut rester plus ou moins monolithique ou évoluer vers un autre type de phénomène : coulée, écoulement. Les dimensions peuvent être modestes ou gigantesques.

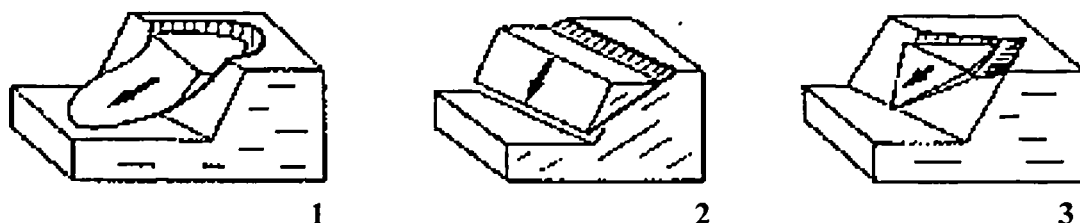


Fig. 16 – Différents types de glissements de terrain :

1 – glissement rotationnel. 2 – glissement translationnel. 3 – glissement translationnel avec contrôle structural

La diversité des glissements est grande, à cause des différences dans la nature et la taille des matériaux, dans la forme de la surface de rupture, dans la distance parcourue par les matériaux glissés au-delà de la zone de rupture, dans les vitesses... En simplifiant, on peut opposer les glissements qui s'opèrent à la faveur d'une discontinuité géologique importante, généralement plane, dans des matériaux variés qui peuvent être déplacés par translation (glissements translationnels) et évoluer vers d'autres modes (écroulement, écoulement), aux glissements qui se font sur une surface de rupture concave et où, du fait de la rotation (glissements rotationnels), la masse glissée reste, pour une large part, à l'intérieur de la zone de rupture. Mais assez souvent, des **glissements composites**, se font sur une surface de rupture irrégulière ou de forme quelconque, parfois multiple.

Le cas particulier des **glissements plans** ("planar slide, block slide, slab slide, sheet slide") se produit à la faveur d'une surface de discontinuité ou de faiblesse préexistante. Il peut s'agir du contact entre formation d'altération et bed rock, d'une faille, ou de joints stratigraphiques. Dans ce dernier cas on a des glissements **banc sur banc** dans des séries litées à pendage aval, conforme avec la pente. Les glissements plans correspondent à des matériaux où l'anisotropie structurale prédomine. Le rôle de l'eau est très important également pour ce type de glissement : lubrification, pression hydrostatique.

Une catégorie spéciale de glissement de terrain est constituée par le **fluage** ("flowage creeping"), les **phénomènes de solifluxion** ("solifluction, flowside") et les **glissements pelliculaires et superficiels**. Il s'agit d'un fluage affectant la partie superficielle (altérée généralement sur substrat imperméable) d'un sol à faible cohésion, saturé en eaux, franchissant la limite de liquidité. Le phénomène s'apparente à une coulée lente. Il n'y a pas de surface de discontinuité nettement individualisée.

Les facteurs prédominants pour l'occurrence de ces phénomènes sont à rechercher dans des structures géologiques propices (discontinuités préexistantes pour les glissements plans, masse importante et relativement homogène de matériaux de caractéristiques mécaniques médiocres (argiles, schistes altérés). Les discontinuités qui favorisent le glissement le long d'un versant sont celles qui sont sensiblement parallèles (conformes) au versant, et constituent des surfaces de glissements potentielles, tantôt superficielles, quand il s'agit par exemple de la limite qui sépare un sol ou une altérite de sa roche mère, parfois plus profondes et plus nettes, quand il s'agit de discontinuités structurales dans le substrat géologique.

Les facteurs déclenchant sont la modification des conditions aux limites, géométriques et hydrauliques (accroissement de la pression hydraulique interne, raidissement des versants, surcharges, changements dans les écoulements souterrains, ...) soit naturellement, soit par action anthropique. L'activité sismique peut aussi intervenir.

La vitesse d'un glissement est lente. En phase "préparatoire", les vitesses sont de l'ordre de quelques millimètres à quelques décimètres par an pouvant aller jusqu'à 10 m, voire davantage. En phase paroxysmale, les vitesses peuvent aller de quelques mètres par jour à quelques dizaines de mètres. Les lois physiques concernées sont celles des ruptures en cisaillement (équilibre limite). Le comportement post-cisaillement initial relève fréquemment de l'écoulement visqueux.

Les moyens de protection consistent tout d'abord en l'installation de dispositifs de mesure et d'auscultation adéquats ainsi que leur suivi régulier. La mesure en continu est souhaitable, en associant autant que possible suivi des déplacements (vitesses) et enregistrement de la pluviométrie. Le contrôle du drainage est fondamental pour la stabilisation de la masse aussi bien profondeur qu'en surface (canaux, drains). Le reprofilage et le confortement par des ouvrages divers (soutènements, ancrages, tirants) sont toujours précédés par une étude géotechnique et géomécanique poussée.

7.1.4. Coulées boueuses, coulées de débris, laves torrentielles, embâcles :

Lorsque la masse issue d'un glissement se désolidarise complètement de sa zone d'origine, généralement grâce à la présence d'une grande quantité d'eau et de matériau en partie liquéfiable, il y a formation de coulées de matériaux (boueux ou rocheux) sur les versants. Dans les cas extrêmes il y a formation de laves torrentielles dans les chenaux existants.

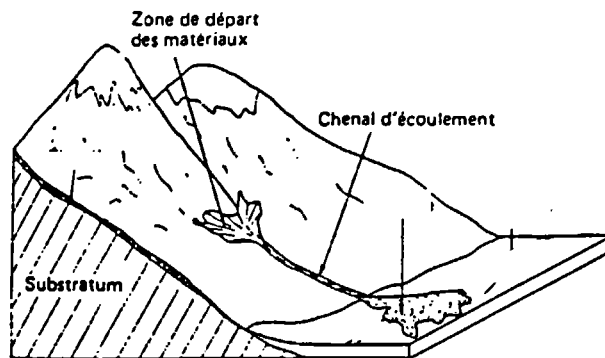


Fig. 17 – Représentation schématique d'une coulée de matériaux

Le déplacement est égal à plusieurs fois ou plusieurs dizaines de fois la dimension de la zone de rupture. La rupture elle-même peut correspondre à un glissement. Ces phénomènes se caractérisent par une rupture brusque plus ou moins instantanée, avec ou sans surface de glissements, et une accélération importante de la vitesse par rapport aux glissements. Si les déplacements de ces derniers se mesurent en cm/jour, ceux des coulées et laves se mesurent en m/s. Il y a donc un saut quantitatif conséquent. La rhéologie est celle d'un fluide visqueux. Le mécanisme est l'écoulement et non plus le glissement. La quantité d'eau impliquée est beaucoup plus grande que dans les phénomènes précédents. On conçoit immédiatement que le

phénomène est beaucoup puissant, rapide et donc beaucoup plus dangereux et destructeur.

On peut distinguer différents types selon la composition du matériau impliqué et l'importance de la fraction liquide.

Les coulées boueuses ("mudflows, earthflows") ou glissements boueux, coulées boueuses à blocs et coulées de débris ("debris flows, rockflows, debris avalanche"), ont une morphologie générale comportant trois secteurs assez bien individualisés : une zone de départ ou rupture marquée par une niche d'arrachement, qui possède l'allure assez classique en couronne d'un glissement qui peut être rotationnel, translationnel, ou plus ou moins complexe. L'accumulation terminale est étalée en lobe simple ou digité. Le lobe est en pente très faible, de quelques degrés, mais se termine par un front convexe assez prononcé. Les blocs les plus imposants sont généralement immédiatement en arrière de ce bourrelet frontal. Entre les deux, se trouve un chenal rétréci, ou plusieurs, en zone de forte pente, par lequel les matériaux descendent de la source vers le lobe du bas de versant. Ils peuvent se disposer en lame sur une pente ou être guidés par l'encaissement d'un talweg, ou d'un torrent, qu'ils empruntent et au débouché duquel ils s'étalent en cône ou en éventail.

Lorsque cette masse transite dans un lit torrentiel, s'engrossant des matériaux meubles des berges et du fond, absorbant le débit d'eau, accroissant ainsi son volume et son énergie selon une réaction en chaîne, on parle alors de **laves torrentielles**. Les distances franchies, y compris en zone de faible pente, sont sans communes mesures avec l'étendue couverte initialement par les matériaux qui leur ont donné naissance. Par rapport aux autres coulées, quelques traits morphologiques et morphodynamiques sont spécialement attachés ou marqués dans les laves torrentielles. Elles transportent des blocs qui peuvent être de très grosses tailles, immobilisés depuis une ancienne crue ou prélevés sur leur passage. Les matériaux grossiers du lit du torrent sont poussés au front de lave et repoussés sur les bords, tandis que des matériaux glissent ou s'écroulent par paquets sur les versants raides déstabilisés.

Coulées et laves torrentielles peuvent naître soit d'un glissement ou écroulement à l'amont, soit dans le lit même torrentiel, par arrachement, ramonage, affouillement et incision du fond du lit, des berges et des versants, lorsque le matériau mobilisable est en quantité suffisante. Lorsque la morphologie du cours d'eau, le volume et la nature des matériaux (y compris la végétation) permettent la constitution d'un barrage naturel et d'une retenue, il y a possibilité d'**embâcle**, puis de **débâcle** au moment de la rupture de cette digue temporaire. Une onde de crue peut alors se propager à l'aval. Le phénomène déclenchant est toujours une forte précipitation.

Les observations de terrain font état d'un écoulement spasmodique, des phases d'écoulement plus rapides alternent avec des pulsions d'écoulements plus visqueux et plus lents. Elles sont produites par des à-coups dans l'arrivée des matériaux bloqués dans leur progression par des étranglements ou des obstacles dans le chenal, ou par des arrivées d'eau latérales.

Pour que le phénomène fonctionne il nécessite une proportion importante de matériaux fins qui, fluidifiés, peuvent emballer des blocs "en suspension" de taille considérable. Le matériau constitutif est, pour reprendre un terme de sédimentologie, une diamictite,

c'est-à-dire qu'il est constitué d'éléments plus ou moins grossiers emballés dans une matrice argileuse. On constate un très faible tri granulométrique dans les dépôts.

Les coulées de débris sont considérées aujourd'hui comme des fluides non newtoniens, dont l'écoulement a fait l'objet de plusieurs modèles rhéologiques. Les vitesses sont plus grandes dans l'axe de ce dernier, où la masse de débris se déplace à une vitesse identique pour tous ses constituants, composant un courant rigide. Cette particularité de l'écoulement permet de mieux comprendre le grand pouvoir d'entraînement et de portance des coulées, capables de déplacer d'énormes blocs. Au fond et sur les bords, l'écoulement est laminaire. Certaines coulées sont capables de construire des levées latérales, qui tendent à contenir l'écoulement de sorte que, moins étalée latéralement, la coulée descend plus loin.

Des expériences ont montré que de relativement faibles quantités d'eau peuvent suffire à mobiliser les débris sous forme d'écoulements avec des densités élevées (entre 1,4 et 2,5) dans des chenaux, et que eau et débris ne se déplacent pas séparément mais s'écoulent en masse.

Coulées boueuses, laves torrentielles et embâcles sont des phénomènes destructeurs car rapides et chargés d'une énergie potentielle importante. Ils sont de loin les phénomènes ou aléas les plus redoutés en contexte montagneux, sous toutes les latitudes et dans tous les contextes géologiques.

7.2. LE DOMAINE TORRENTIEL

Rappelons que l'aléa torrentiel, dans la partie basse des vallées, n'est pas pris en compte dans cette étude. Cet aléa nécessite une approche spécifique reposant en particulier sur des mesures in situ, de l'instrumentation de bassins versants et des modélisations. Nous décrivons néanmoins les principaux désordres éventuellement encourus.

7.2.1. Engravement, charriage torrentiel, divagation torrentielle

Ces phénomènes se caractérisent par une mobilisation importante de sédiments pris dans l'environnement immédiat d'un torrent. Celui-ci va chercher un surplus de charge solide aux limites de sa zone d'influence. La modification du profil longitudinal et transversal, le fauchage des berges, la divagation du lit vif, la mise à nu des sédiments, l'engravement de tout ou partie du lit, sont les désordres classiquement encourus. La charge solide est arrachée aux berges, remobilisée à partir du fond du lit et abondée par l'érosion hydrique environnante.

A l'instar des autres phénomènes décrits, le charriage se produit pendant les crises aiguës pluviométriques. Le charriage prend de nombreuses formes, depuis le glissement ou le roulement de quelques éléments isolés sur le fond jusqu'aux écoulements hyperconcentrés qui font la transition avec les laves torrentielles. Mais contrairement aux laves torrentielles qui sont des écoulements intermittents, le charriage est un mode d'écoulement plus permanent. Disons qu'il fait partie du fonctionnement chronique du torrent. La charge solide est arrachée aux berges,

remobilisée à partir du fond du lit et abondée par l'érosion hydrique environnante. Le charriage désigne alors le transport sur le fond d'éléments non cohésifs.

Le charriage torrentiel se produit normalement dans un domaine aval de celui des laves, de manière parfois indépendante, parfois connexe. Le ratio débit solide/débit liquide est très inférieur à celui des laves torrentielles. En zones encaissées et étroites, l'action érosive domine, en zone d'élargissement et de faible pente, les dépôts s'étalent et la zone active divague. A l'exutoire, dans la zone de jonction avec le niveau de base (grandes plaines alluviales à la sortie des massifs) se forme un cône de déjection dont la génératrice n'est autre que le lit vif du torrent qui par balayage séculaire distribue sa charge solide devenue désormais intransportable par manque de pente. Bien que moins dangereux que les laves torrentielles, le charriage et la divagation torrentielle sont des nuisances importantes qui ruinent fréquemment les aménagements humains trop proches de leur zone d'influence.

7.3. CLASSIFICATION TYPOLOGIQUE DES ALEAS MOUVEMENTS DE TERRAIN

Bien des critères peuvent être utilisés pour classer les aléas : nature du terrain, anisotropie structurale, profondeur et volumes concernés, vitesse d'évolution, type de mécanisme, rhéologie.

Nous présentons en figure xxx, un essai de classification basé sur la proportion eau / matériau (Meunier, 1994) qui a l'avantage de séparer les aléas dans les deux domaines morphologiques naturels que sont les versants et les torrents.

7.3.1. Les facteurs

L'apparition de mouvements de terrain est le résultat de la conjonction de plusieurs facteurs :

- **des facteurs intrinsèques ou permanents** tels que la gravité, la composition du terrain, les discontinuités diverses (stratification, failles, fracturation, filons, paléosurfaces ou interfaces, autres anisotropies structurales),
- **des facteurs aggravants** tels que la pente ou les interventions anthropiques (feux, terrassements),
- **des facteurs déclenchants** tels que séismes ou précipitations abondantes et modification des conditions hydrogéologiques.

L'action de l'eau est au cœur de presque tous les processus d'instabilité. Certains facteurs sont peu variables dans le temps (nature du terrain) alors que d'autres sont très évolutifs (teneur en eau).

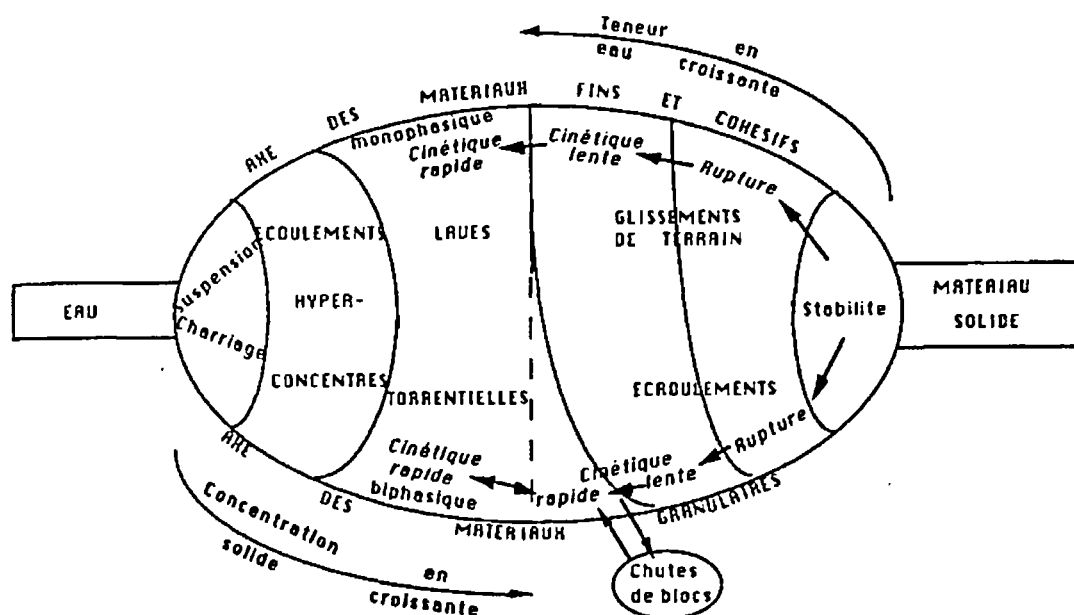


Fig. 18 – Essai de classification des phénomènes du type glissements de terrain en fonction de la proportion eau / matériau (d'après Meunier, 1999)

Les mouvements de terrains sont rarement isolés, au contraire on observe la plupart du temps un cortège d'événements dans le temps et l'espace. Un glissement ou écoulement lent peut évoluer en coulée boueuse rapide, voir en lave torrentielle. De nombreux cas de figures intermédiaires peuvent se réaliser. Des phénomènes tels qu'éboulements, érosion hydrique, charriage et engravement des torrents, sont autant de phénomènes périphériques. La répétitivité dans le temps du phénomène est constatée.

8. Contexte géologique de la Nouvelle-Calédonie

Le facteur dominant et permanent qui détermine les mouvements de terrain en Nouvelle-Calédonie est d'ordre géologique. Il est donc normal de faire le point sur les connaissances géologiques de l'île avant d'aborder la revue des phénomènes d'instabilité. Le contexte géologique très spécifique néo-calédonien génère des phénomènes d'instabilité souvent originaux. Sans rentrer dans le détail, complexe, de la géologie de la Grande-Terre, on peut distinguer fondamentalement deux types d'environnement géologique pour les aléas en Nouvelle-Calédonie :

1 - Le substrat volcano-sédimentaire où les aléas sont d'ampleur limitée en nombre et en intensité.

2 - Les massifs de péridotites où les grandes quantités de matériaux mobilisables et les dénivelés importants génèrent des phénomènes puissants et de grande ampleur.

Dans les deux types d'environnement ce sont les formations superficielles et d'altération qui sont presque toujours la source des désordres. Or, si les connaissances fondamentales sur la géologie du substrat de l'île sont bonnes (Paris, 1981, Cluzel, 1995 à 1998), il n'en est pas de même au niveau de ces formations superficielles et d'altération, qui n'ont pas fait l'objet de levés systématiques lors de la réalisation de la couverture géologique, du moins avec le degré de précision nécessaire. A de rares exceptions près, les cartes géologiques à l'échelle du 1/50 000 qui couvrent l'ensemble du territoire sont dans la pratique inutilisables sous cet aspect. Le problème est particulièrement sensible pour ce qui concerne les ensembles latéritiques des massifs de péridotites dont la connaissance et la cartographie est très hétérogène.

8.1. GEOLOGIE DU SUBSTRAT

La Grande-Terre est un assemblage complexe d'unités ophiolitiques et de sédiments le plus souvent de type turbiditique volcano-clastique dans lesquels les jalons stratigraphiques précis sont peu nombreux. Elle est composée (Fig. 19) d'un noyau ancien composite et complexe (Carbonifère supérieur à Jurassique supérieur) et d'unités discordantes ou chevauchantes mises en place entre le Crétacé supérieur et l'Oligocène. Cette ancienne zone d'affrontement est aujourd'hui cicatrisée, ce qui explique le calme sismique relatif que le Territoire connaît et l'absence de volcanisme actuel. La zone d'affrontement active se trouve désormais au niveau de l'arc insulaire du Vanuatu où sismicité et volcanisme en sont des témoins vivants. Trois cycles peuvent être distingués.

8.1.1. Le cycle anté-sénonien

Durant cette longue période (300 – 100 MA) se constitue un noyau ancien entre le Carbonifère et le Jurassique. Ce noyau est formé par quatre unités accolées, éléments d'arc ou de bassin intra-océanique "péri-gondwaniens", chaque unité ayant sa propre signature structurale et lithologique. L'ensemble est recouvert en discordance par les

terrains du Crétacé supérieur, le cycle s'achevant par la "Rangitata orogeny", phase Kimmérienne définie en Nouvelle-Zélande.

1) L'unité volcano-clastique de Téremba, sur la Côte ouest, représente les produits proximaux de démantèlement et de fonctionnement d'un arc. Elle débute au Permien moyen et s'étend jusqu'au Jurassique supérieur.

2) L'unité de Koh correspond à un ensemble ophiolitique démembré dont l'élément le mieux connu (massif de Koh) est daté du Carbonifère supérieur (Aitchison *et al.*, 1998).

3) L'unité polymétamorphique de la Boghen (Routhier, 1953) correspond à un ensemble volcano-sédimentaire et terrigène à caractère distal, polymétamorphique, reposant directement sur une croûte océanique (Cluzel, 1996).

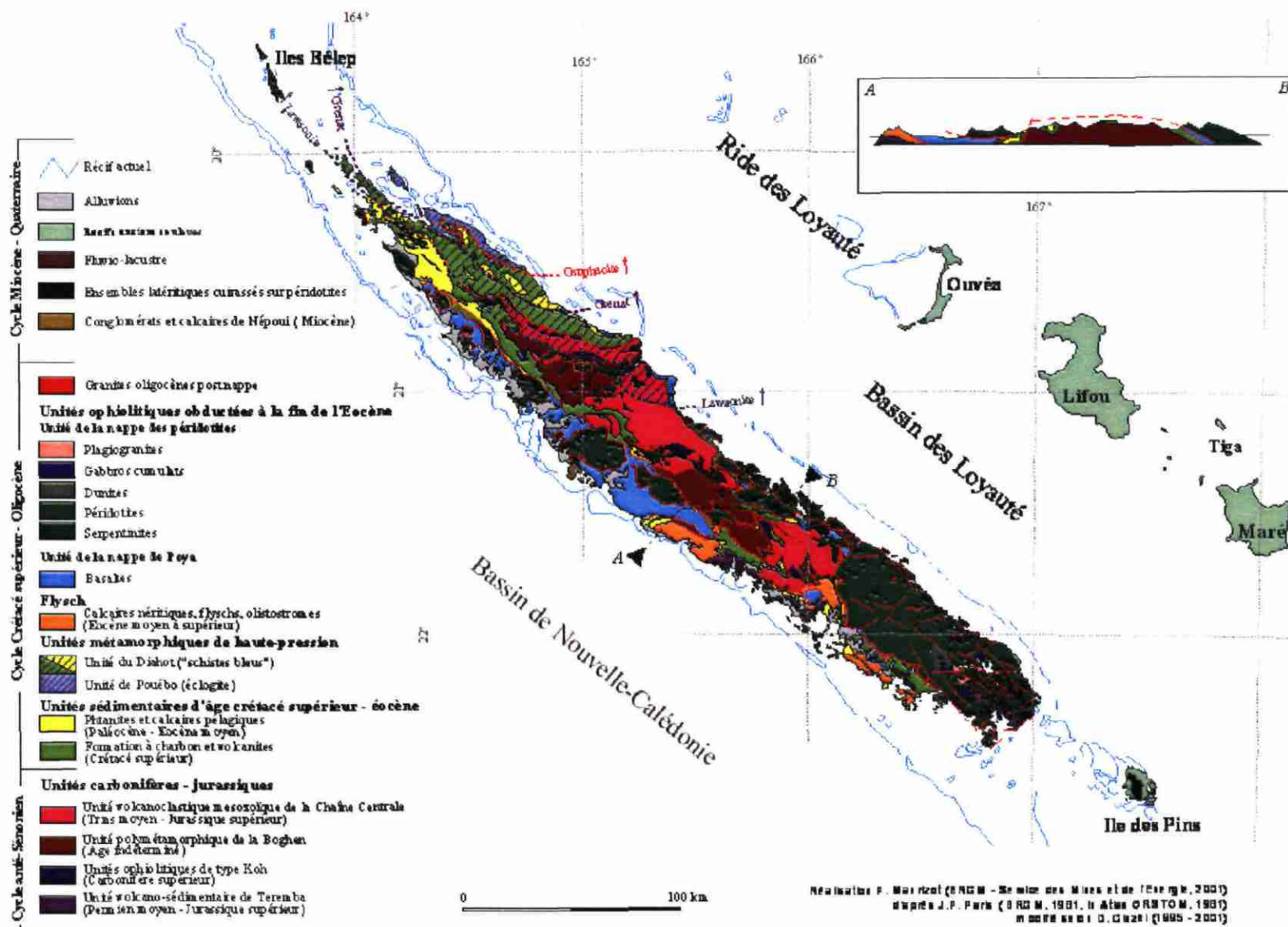
4) L'unité volcano-clastique de la Chaîne centrale repose sur les unités ophiolitiques de type Koh. Elle représente les produits distaux de démantèlement d'un arc ayant fonctionné entre le Permien et le Jurassique supérieur.

8.1.2. Le cycle crétacé supérieur à Oligocène

Durant ce cycle sont mises en place des unités discordantes ou chevauchantes. Deux unités sédimentaires recouvrent en discordance les ensembles permo-mésozoïques accolés pendant l'orogénèse Rangitata : Une mégaséquence d'âge Crétacé supérieur à Éocène moyen, terrigène et volcanique et une mégaséquence de flysch d'âge Éocène supérieur précédant le charriage des unités ophiolitiques sur tout l'ensemble.

L'unité sédimentaire d'âge crétacé supérieur à éocène moyen débute par un conglomérat basal discordant sur divers termes anté-crétacés. Lui succède une série d'argilites, silts et grès à intercalations de charbons ("formation à charbon" des anciens auteurs) déposés en contexte deltaïque à circa-littoral. La série admet des intercalations volcaniques dans les bassins de Nouméa et du Diahot. En continuité apparente sur les formations précédentes se déposent des shales siliceux, des cherts hémipélagiques ("phtanites" des anciens auteurs), des calcaires siliceux micritiques pélagiques à Globigérines, des calcaires pélagiques roses à radiolaires.

Fig. 19 – Carte géologique de la Nouvelle-Calédonie



Différents termes des unités précédentes, qu'ils soient d'âge crétacé supérieur à éocène ou plus anciens, sont impliqués dans le **métamorphisme de haute-pression** (HP-BT) d'âge éocène moyen à supérieur (35 à 40 MA, Blake *et al.*, 1976; Baldwin *et al.*, 1999) du Nord calédonien. Cette partie de la Grande-Terre a été engagée profondément dans une subduction à plongement est, jusqu'à une profondeur de 40 à 70 km (Cluzel, 1995). La schistosité qui accompagne ce métamorphisme est sensible dans toute la moitié nord du territoire. En se dirigeant vers le NW, les isogrades de la lawsonite, du grenat puis de l'omphacite sont progressivement traversés. L'empreinte du métamorphisme est maximale dans les unités du Diahot (faciès "schistes bleus" à glaucophane) et de Pouébo (faciès éclogite). L'unité métamorphique de haute pression du Diahot est constituée de schistes, micaschistes et métavolcanites à glaucophane, lawsonite et chloritoïde. L'unité métamorphique de haute pression de Pouébo est un mélange ophiolitique formé de blocs de dimensions métriques à kilométriques, à matrice sédimentaire ou serpentineuse, dans lesquels on trouve des roches basiques, ultrabasiques et des cherts ferro-manganésifères (Maurizot, 1989), transformées en éclogite et talcschistes.

Alors que le métamorphisme HP-BT affecte le NE calédonien, dans le même temps se dépose au SW un complexe d'accrétion avant-arc caractérisé par un **flysch d'âge éocène supérieur** (Gonord, 1977). Le flysch débute par des calcaires néritiques glauconieux à grands Foraminifères benthiques (calcaires de Uitoé), puis passe progressivement mais rapidement à des turbidites carbonatées. Il se poursuit par des turbidites volcanoclastiques et bréchiques de plus en plus grossières vers le sommet, à olistolithes (wildflysch). Son sommet est couronné dans la presqu'île de Nouméa par un olistostrome remaniant le flysch lui-même (flysch de la Cathédrale).

Le flysch est enfin à son tour coiffé par les nappes ophiolitiques (nappe de Poya puis nappe des péridotites).

La nappe des basaltes de Poya (Cluzel, 1997, 2001) est un duplex (imbrication complexe d'écaillés) d'âge crétacé supérieur à paléocène, constituée de laves basiques souvent en pillows lavas, de dolérites, de gabbros équants, et de minces intercalations de sédiments abyssaux tels que jaspes, argilites à radiolaires, sédiments exhalatifs hydrothermaux.

La nappe des péridotites représente un tiers de la superficie de la Grande-Terre. On distingue le grand Massif du Sud et une série de klippes qui s'alignent tout au long de la côte ouest. Ces différentes unités forment des massifs imposants dominant le substrat de plusieurs centaines de mètres, leur caractère chevauchant étant clairement visible dans le paysage. La séquence mantellique est de type harzburgite – dunite. Les lherzolites ne sont connues qu'au Nord de la Grande-Terre. Dans le Sud de la Grande-Terre et à l'île des Pins, plusieurs corps de gabbros cumulats forment autant de chambres magmatiques lenticulaires séparées au sein des dunités supérieures.

Deux **batholites grano-dioritiques** (Saint-Louis et Koum) sont intrusifs dans la nappe des péridotites, au niveau du massif du Sud. Le granite de Saint-Louis est localement intrusif dans le substrat volcano-sédimentaire de la nappe. Datés à 24-27 MA (Guillon, 1975), ces granites oligocènes post-datent la mise en place de la nappe des péridotites.

8.1.3. Le cycle miocène à actuel

Durant ce cycle sont façonnés progressivement les paysages de l'archipel tels que nous les connaissons actuellement. La zone de convergence de la Nouvelle-Calédonie cesse d'être active et se déplace vers l'Est. Les mouvements dans cette zone cicatrisée vont être désormais contrôlés à grande échelle par le bombement lithosphérique provoqué par la subduction qui est désormais active au niveau du Vanuatu (10 MA). Les formations continentales d'altération ou marines récifales sont distribuées et compartimentées en fonction de ce phénomène. L'axe de la Grande-Terre et le chapelet des Loyauté émerge selon une voûture, alors que leurs extrémités NW et SE s'ennoient progressivement dans la mer. De nombreuses anisotropies locales interviennent à plus petite échelle.

La première formation post-nappe, discordante sur les péridotites et le flysch éocène est la **séquence miocène de Népoui** correspondant à une série monoclinale, très faiblement pentée vers le SW. Conglomératique à sa base, elle remanie très largement les roches ultrabasiques et leurs produits d'altération latéritiques et se dépose dans un environnement fluvial, deltaïque ou de plaine côtière, avec épisodes pédogénétiques (silcrêtes, carapaces ferrugineuses). A la partie supérieure de la séquence les calcaires coralliens, lagonaires ou d'arrière-récif, deviennent progressivement prédominants. La surface miocène, inclinée vers le lagon, se raccorde vers l'intérieur de l'île, au prix de quelques failles normales, aux surfaces d'altération maîtresses cuirassées qui nivellent en plateau les massifs de péridotites voisins, dont le façonnement a donc pu débiter dès cette période. Le paysage que l'on peut reconstituer pour cette période est donc très proche de l'actuel.

Ultérieurement, de nombreuses surfaces et paliers d'altération se forment sur la Grande-Terre. Les surfaces les plus remarquables sont visibles sur les péridotites qui présentent une grande sensibilité à l'altération sous climat tropical. Ces surfaces sont recouvertes par des épaisseurs de plusieurs dizaines de mètres de latérite terminées par un horizon cuirassé. A leur base se concentrent les saprolites nickélifères. Dans le Sud du Massif du Sud, l'altération karstique propre au milieu péridotitique a abouti à la formation de bassins endoréiques dont certains sont encore fonctionnels (Plaine des Lacs). Certains bassins sont pro parte remplis par des formations sédimentaires fluvio-lacustres provenant du démantèlement des profils latéritiques.

Qu'ils résultent du bombement général lithosphérique ou de mouvements de réajustement plus localisés, les récifs anciens soulevés (Loyauté, île des Pins, Yaté) présentent un large spectre d'âges qui s'étale depuis le Miocène supérieur (île de Maré aux Loyauté) jusqu'au quaternaire.

Les terrasses fluviales, glaciaires d'épandages et formations lagonaires, anciennes, récentes ou actuelles, sont plus développées sur la côte ouest que sur la côte est. Cette dissymétrie qui se retrouve dans la morphologie et l'alluvionnement actuel indiquent un mouvement général différentiel de bascule, positif au SW et négatif au NE, encore actif.

8.2. GEOLOGIE DES FORMATIONS SUPERFICIELLES ET D'ALTERATION

On peut fondamentalement diviser les formations d'altération de la Grande-Terre en deux grands groupes lithologiques :

- les altérites liées au substrat volcano-sédimentaire (appelés couramment et improprement "schistes"), où l'altération se manifeste généralement par une argilification et une ferruginisation sur une épaisseur variable,
- les altérites développées sur la nappe des péridotites qui ont une extension considérable, où la roche mère, très sensible à l'altération supporte un important cortège altéritique différencié et par place très épais (plusieurs dizaines de mètres), constitué essentiellement de produits ferrugineux.

8.2.1. Les formations altéritiques liées au substrat volcano-sédimentaire

La grande majorité des formations du substrat de l'île est constitué par un fond d'**argilites** ("schistes") avec des apports variables volcanoclastiques. La réponse à l'altération de ces matériaux est relativement constante :

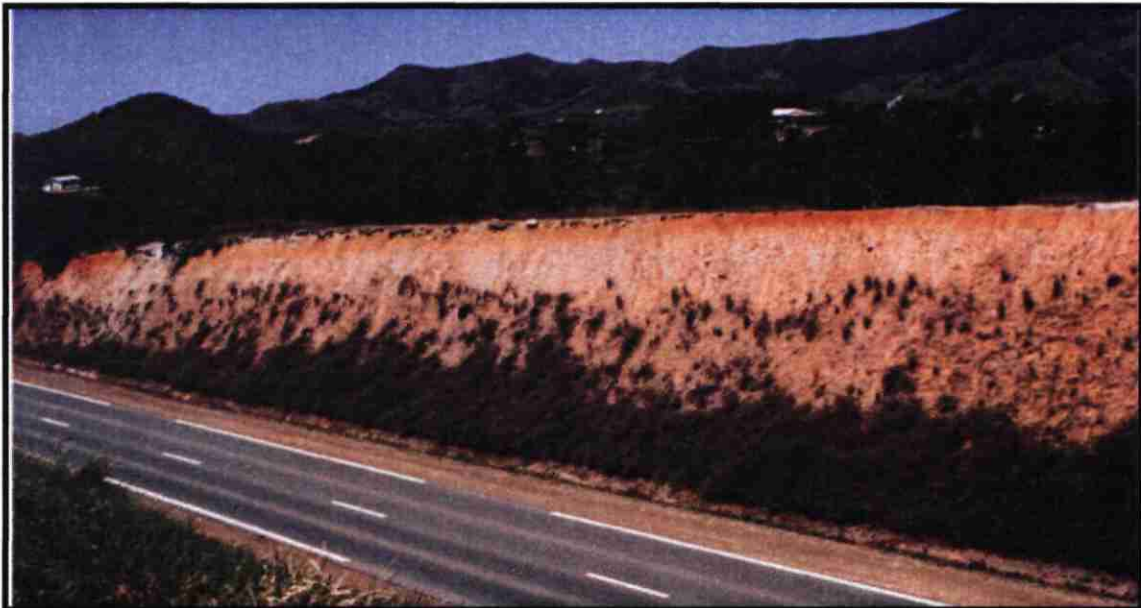


Fig. 20 – Exemple de profil d'altération sur schistes du Crétacé dans le talus de la SAV Express au niveau de Païta

Elle se caractérise par le développement d'un profil sur un à quelques mètres, de couleur rosée à rouge, enrichi en argile et en fer (sol fersialitique des pédologues). Ce profil "in situ" incorpore des éléments résiduels ou allochtones détritiques caillouteux, notamment dans sa partie supérieure. On peut distinguer :

- un horizon basal d'isaltérites ou saprolite, transitionnel avec le substrat schisteux, sans interface nette, caractérisé par une transformation essentiellement chimique du matériau initial encore reconnaissable,
- un horizon supérieur d'allotérites, déstructuré, où les phénomènes physiques de compactions, tassements et glissements prédominent,
- un horizon sommital, riche en cailloutis allochtones ou résiduels termine parfois cette séquence.

Nos connaissances fondamentales sur cet horizon de surface sont minimales. Les seuls éléments analytiques en notre possession proviennent d'études ponctuelles d'évaluation de ces matériaux argileux pour produire des briques et des céramiques. Ces argiles sont minéralogiquement composées de kaolinite en majorité (métahalloysite), smectite et contiennent en outre goéthite et quartz. Les teneurs en Al_2O_3 varient de 10 à 20 %, le fer allant de 7 à 15 %, alors que SiO_2 oscille entre 50 et 70 % (Le Berre et al., 1991).

Ce schéma peut varier sensiblement en fonction de la composition de la roche mère (litho-dépendance).

Les laves et les sédiments volcanoclastiques basiques s'altèrent en une argile ocre orangée riche en oxydes de fer. L'altération qui progresse à partir du réseau de fracture, forme des auréoles concentriques en "pelures d'oignon" et libère de gros blocs arrondis pouvant basculer dans la pente. Le matériau d'altération superficielle présente un bon drainage interne et une rétention (réserve utile) en eau supérieure à celle des niveaux "schisteux" de la série.

Sur les phtanites, l'altération est en général plus développée du fait de l'intense fracturation de ce matériau cassant. De grandes quantités d'éboulis, et de formations de pente empâtent généralement les versants et peuvent localement déborder sur les formations environnantes. En surface, l'accumulation de fragments de quartz blancs dépigmentés constitue un tapis de "caillasses blanches".

Sur les basaltes de la "nappe de Poya", très fracturés et écaillés de part leur situation structurale infra nappe, l'altération pénétrante est importante. La densité des discontinuités, pour la plupart colmatées par des carbonates ou des minéraux chloriteux, ne permet pas la libération de blocs d'importance volumétrique notable. Ce faciès se désagrège donc en une sorte d'arène brune friable. Sur le bas des pentes se développent des argiles noires hypermagnésiennes souvent gypsifères (vertisols à gypse, Beaudou et al., 1983).

Sur les différents types de flyschs l'altération est en général moins développée. Sur le flysch carbonaté se développe des calcrêtes friables blancs (caliche). Sur le flysch volcanoclastique l'altération est d'une manière générale relativement réduite.

L'altération est étroitement associée à la morphologie. Le contrôle de la distribution des altérites se fait à plusieurs niveaux.

A l'échelle régionale, voire à l'échelle de l'île, des zones d'altération homogènes marquées morphologiquement par des paléosurfaces et des zones d'aplanissement

s'individualisent. On peut citer par exemple la zone de "Forêt Plate" dans la région de Koné, à l'Est du massif du Kopéto, le "plateau de Tango" sur la transversale Koné – Poindimié et l'ensemble morphologique de la côte ouest.

Ces surfaces sont le témoin des mouvements de réajustement progressif de l'île pendant les dix derniers millions d'années. Nos connaissances sur cette évolution sont minimales. Les relations spatiales et temporelles entre ces différentes reliques de zones d'aplanissement et celles qui s'individualisent sur les massifs de péridotites reste entièrement à décrypter.

A un deuxième niveau local, la répartition de l'altération est fonction du relief ou plus exactement de la pente et de la position relative dans le versant (Lagagnier R., 1994).

- Les crêtes et le haut des versants sont généralement soumis à l'ablation résultant essentiellement du drainage externe ou ruissellement, mettant à nu le substrat.
- Les versants plus ou moins réguliers forment une zone de transition où la pente moyenne diminuant, les eaux se concentrent vers de petits talwegs. La zone altéritique commence à se développer.
- Les bas de versants, avec une pente progressivement nulle, sont empâtés par une zone d'altération plus épaisse, enrichie en débris insolubles résiduels ou allochtones en provenance de l'amont.

Le dernier contrôle, à la plus petite échelle est d'ordre structural. L'altération est guidée par les discontinuités, depuis la fracture jusqu'aux failles majeures. L'altération pénètre à la faveur des plus gros accidents.

8.2.2. Les formations altéritiques développées sur la nappe des péridotites

Les formations superficielles sur péridotites ont fait l'objet par le passé d'un bon nombre d'études et de publications (Orloff, 1968, Latham, 1974 à 1977, Trescases, 1975, Guillon, 1975, Troly, 1978, Lajoignie, 1978, Vogt, 1983, Pelletier, 1983). Cependant depuis près de quinze ans aucun travail marquant n'est venu compléter cet acquis des années 70.

Wirthmann (1965, 1970) a été le premier à souligner le caractère karstique de l'altération en milieu péridotitique avec dissolution chimique, accompagné de départ par soutirage et tassement des altérites. Le vocabulaire du karst et couramment employé par les différents auteurs : "surfaces lapiazées", "dolines", "poljés". La dissolution chimique s'exerce au dépens des silicates ferro-magnésiens, et en dépit d'une grande quantité de résidus ferrugineux, elle est suffisamment active pour que les circulations d'eau souterraines s'établissent le long des fractures. Cependant à un certain stade, se produit un colmatage des zones de soutirages. Il n'y a pas évacuation complète. L'accumulation des résidus conduit à la formation d'un manteau d'altérite.

Au plan chimique, il y a lixiviation presque complète du magnésium et rétention partielle de la silice. Le fer à l'instar du manganèse reste in situ, et avec lui un cortège d'éléments trace spécifiques aux péridotites tels que nickel, cobalt, chrome.

Latérites "in situ"

Le profil latéritique idéal se décompose comme suit du bas vers le haut :

1 - la roche saine dont la cohésion et la continuité sont interrompues par des fractures ou l'altération pénétrante persiste. De telles fractures peuvent se rencontrer à l'intérieur des massifs à des profondeurs de plusieurs centaines de mètres. Les fractures injectées de filons gabbroïques argilisés en sont de bons exemples. Le toit de ce niveau est très irrégulier, avec pinacles et dépressions.

2 - la roche altérée à texture conservée ou saprolite où commence l'hydrolyse des silicates avec dans l'ordre : péridot, pyroxène et serpentine. Sa composition est hétérogène. Au plan physique, c'est un mélange en différentes proportions d'éléments de tailles diverses (blocs, boulders, fragments) de péridotite plus ou moins altérées. La propagation de l'altération à partir du média fracturé isole souvent des éléments montrant un noyau plus sain et une écorce très altérée. Bien que la trame minérale de la roche soit encore reconnaissable, la transformation chimique, minéralogique, mécanique et physique y est complète. C'est cet horizon qui porte le minerai de nickel garniéritique silicaté.

3 - l'horizon de transition à texture encore reconnaissable où se continue l'hydrolyse des silicates et où les noyaux sains ont totalement disparus. C'est une saprolite terreuse.

4 - l'horizon des terres où l'hydrolyse est achevée et où dominant très largement des oxydes et hydroxydes ferriques. Toute texture héritée a disparu au profit de textures secondaires : petits miroirs de glissement, figures de tassement. Sont cependant encore reconnaissables, bien que très déformés, des traits lithologiques importants de la roche mère : rubanement dunitique, plan serpentineux, filons divers. Cet horizon des terres se subdivise en :

- terres jaunes de granulométrie fine à la base, riche en grains de chromite résiduelle,
- terres brunes ou rouges caractérisées par l'apparition de concrétions ferrugineuses sphériques, de un à quelques millimètres (nodules ou "grenaille"),
- niveau de grenaille et de gravillons allant jusqu'à une taille centimétrique,
- cuirasse ferrugineuse, souvent plus ou moins démantelée et recimentée.

Le vocabulaire vernaculaire calédonien issu principalement du milieu des mineurs, n'a pas retenu les termes classiquement employés dans la littérature générale des altérites. En toute rigueur les niveaux 2 et 3 correspondent aux isaltérites (altérites ayant conservé l'aspect des structures de la roche originelle) et le niveau 4 aux allotérites (altérites ayant subi des transformations texturales et/ou minéralogiques importantes).

Latérites remaniées

Ces formations sont importantes à prendre en compte dans le cadre de cette étude, car elles constituent le témoignage d'anciens mouvements de terrain qui peuvent nous éclairer sur la survenue des aléas actuels. Elles ont été largement sous-estimée dans les levés des cartes géologiques au 1 / 50 000.

Avec un degré croissant dans l'allochtonie et la granulométrie on peut distinguer :

- des profils latéritiques en zones de pente, en partie remaniés incorporant notamment des blocs de péridotites,
- d'anciennes coulées boueuses et laves torrentielles à matrice latéritique et gros blocs flottants péridotitiques,
- des épandages plus largement étendus de produits issus de l'altération et du démantèlement des massifs de péridotites, incluant : latérite, magnésite, blocs résiduels de silice et cuirasse.

Ces deux derniers types débordent largement sur le substrat volcano-sédimentaire, sont chenalisés et remplissent des paléo-vallées, ou se retrouvent perchées en crête par inversion de relief. Leur partie supérieure montre parfois une altération latéritique. Ces deux derniers faits, inversion de relief et latéritisation postérieure, attestent de l'ancienneté de certaines de ces coulées. Leur partie amont peut se rattacher à une masse latéritique in situ, tandis que leur partie aval peut présenter des caractères de dépôts plus torrentiels, avec enrichissement en galets.

En tout état de cause ces formations correspondent à des épisodes parfois très anciens de démantèlement des massifs et leurs chronologies relatives restent là aussi à établir.

Distribution spatiale des altérites

Le profil idéal peut présenter d'innombrables variantes selon la nature (lithologique, tectonique) de son substrat, sa position topographique (plateau, crête, versant, fond de vallée), mais surtout selon l'histoire géologique plus ou moins complexe qu'il a subie et donc enregistrée, altération, érosion et sédimentation se disputant leur part respective. Cependant si les preuves d'érosion de profils sont indiscutables ponctuellement, les témoins de remaniements massifs sur de grandes étendues sont quant à eux peu fréquents. Le processus d'altération chimique prévaut sur tous les autres.

L'altération s'installe en général sur les zones de faiblesses tectoniques quelles qu'en soit l'échelle. Le réseau linéaire de fracturation détermine ainsi des "sillons" où "plonge" l'altération per descensum et à l'inverse des "cloisons" de péridotites saines. Le découpage ainsi produit isole des "alvéoles" caractérisées par une épaisse accumulation de latérite. Des alvéoles adjacentes peuvent fusionner par dissolution d'une cloison. La coalescence de plusieurs alvéoles conduits à la formation de bassins. Si le processus d'altération peut opérer pendant une longue période de stabilité du niveau de base, il y aura formation d'une surface d'aplanissement nette. Mais un réajustement de ce niveau provoquera la reprise érosive de l'unité d'altération qui sera alors entaillée, réouverte puis dégradée. Il peut y avoir inversion complète du relief initial. Les réajustements incessants de ce niveau de base qui ont accompagné la surrection progressive du bâti calédonien depuis le Miocène ont abouti à la formation au sein des massifs de péridotites d'une hiérarchie complexe d'unités d'altérites étagées ou emboîtées.

On distingue généralement plusieurs types d'unités altéritiques en fonction de critères géomorphologiques et en liaison avec l'expérience pragmatique des mineurs.

- les plateaux généralement étendus, où le profil des terres est épais (20 m et plus) et bien différencié, presque toujours cuirassés, riches en dolines, reliques probables d'anciennes surfaces plus étendues, témoignant de longues phases de stabilité.

- les versants ou le profil composite, présentent souvent des lacunes, et n'excèdent pas 10 m. Les terres jaunes sont souvent absentes, les saprolites épaisses et l'altération se répartit souvent en poches.

Entre ces deux extrêmes, des ensembles étagés en paliers séparés par des étranglements et des ressauts complètent le paysage altéritique des "massifs miniers".

Distribution temporelle des altérites

Les premiers concepts sur l'altération des massifs de péridotites font appel à une surface majeure (Davies, 1918, Routhier, 1953, Wirthmann, 1970) issue d'un Cycle I. Cette surface primitive serait encore représentée dans les cuirasses les plus importantes au Nord (îles Belep, massifs de Poum et Thiébaghi) et au Sud (Plaine des Lacs) de la Grande Terre. On la retrouverait également sur la côte Est et sur la côte Ouest où en particulier les cuirasses sommitales du massif du Kopéto et du Boulinda se raccordent harmonieusement en pente douce avec la surface de base des sédiments détritiques miocènes de la presqu'île de Népoui qui remanient le cortège des péridotites altérées.

Cette pénéplaine qui serait donc d'âge miocène, aurait été par la suite, progressivement morcelée lors des diverses phases d'exhaussement de l'échine dorsale calédonienne, différents blocs étant disjoints par la néotectonique (Orloff, 1968). Les paliers d'altérations étagés visibles partout dans les massifs furent considérés comme les témoins successifs d'un abaissement du niveau de base et mis en relation avec une succession de différents cycles d'érosion et d'altération, postérieurs au cycle I.

Au fur et à mesure des études de plus en plus détaillées (notamment minières) le nombre de cycles invoqués augmenta, et les corrélations entre paliers dans différents bassins s'avérèrent difficiles. Latham (1975) sur le Boulinda arrive ainsi à six niveaux d'aplanissement. Par ailleurs les témoins de cassures néotectoniques n'étaient pas pour le moins flagrants. En fait le processus d'altération chimique prédomine sur tous les autres et gomme aussitôt les marques néotectoniques.

Il fallu donc remettre en cause cette vision trop systématique (Lajoinie et Vogt, 1978), sans pour autant abandonner le concept d'une surface initiale qui demeure clair à grande échelle. La vision d'un continuum d'altération sur une surface polymorphe en évolution s'impose aujourd'hui. Le soulèvement d'ensemble du bâti néocalédonien et les variations eustatiques ont provoqué une reprise incessante des profils d'altération et une succession complexe de morphologies étagées ou emboîtées. Des bassins d'altération synchrones, parfois de toutes tailles, peuvent se former à des altitudes différentes, l'étagement des paliers n'étant pas un critère temporel.

9. Les aléas dans le substrat volcano-sédimentaire

9.1. LES GLISSEMENTS, GLISSEMENTS- COULEES ET SOLIFLUXIONS

9.1.1. Glissement de terrain de Yahoué (commune du Mont-Dore)



Fig. 21 – Localisation du glissement de Yahoué



Fig. 22 – Glissement de Yahoué : Partie médiane du glissement, route coupée et emportée.

Le glissement de Yahoué s'est produit au début de l'année 2000 suite à de fortes précipitations. Il se situe en rive droite de la rivière Yahoué dans un "morcellement" où un groupe d'habitations a été aménagé en superposition sur un versant relativement raide.



Fig. 23 – Glissement de Yahoué : Zone aval de la niche d'arrachement



Fig. 24 – Glissement de Yahoué : Partie médiane avec îlots de végétation emportés

Description des désordres

La route d'accès aux différentes habitations a été coupée et emportée par le glissement, tant et si bien que les maisons les plus en altitude se sont retrouvées dépourvues d'accès. Des poteaux électriques et téléphoniques ont été couchés, des canalisations coupées. La construction la plus basse a été partiellement touchée par la langue de glissement et en partie ensevelie. Son mur amont était couvert jusqu'à deux à trois mètres de hauteur. Bien qu'ayant résisté à la poussée, il avait laissé passer par les ouvertures des matériaux boueux qui ont envahi le rez-de-chaussée. En fait aucune habitation n'a été touchée dans ses structures.

Géologiquement, le glissement s'est produit dans une zone d'altération très argileuse développée au dépens des schistes crétacés qui forment le substrat de ce secteur. Ces derniers ne sont cependant jamais visibles dans la zone des désordres. L'épaisseur des terrains d'altération est probablement épaisse par endroit de plus de cinq mètres. Les formations remaniées par les divers terrassements, d'anciens niveaux de sols, des éboulis de pente sont également visibles.

Le glissement de terrain s'étendait sur une distance de quatre-vingt mètres pour une dénivellation de près de trente-cinq mètres. Sa largeur était relativement étroite, d'une dizaine de mètres. Dans le secteur affecté, la pente est soutenue, proche de 100%. A l'amont, la niche d'arrachement était marquée par un abrupt de 3 à 4 mètres, coupé dans l'argile massive, au-dessous de l'habitation la plus élevée. Lui succédait vers l'aval un couloir boueux dont les rebords abrupts étaient souvent striés par les frottements des matériaux durs sur l'argile tendre.



Fig. 25 – Glissement de Yahoué : l'habitation la plus en aval, recouverte par la coulée boueuse.

Quelques jours après l'évènement, l'eau coulait encore abondamment selon cet axe sinueux qui était impraticable à pied. Des îlots de végétation plus ou moins basculés, des portions de revêtement de piste en béton et autres débris, "flottaient" sur ce matériau. Vers le bas, au niveau de l'habitation la plus inférieure, se trouvait le bourrelet d'accumulation, constitué d'argile presque fluidifiée et de boue.

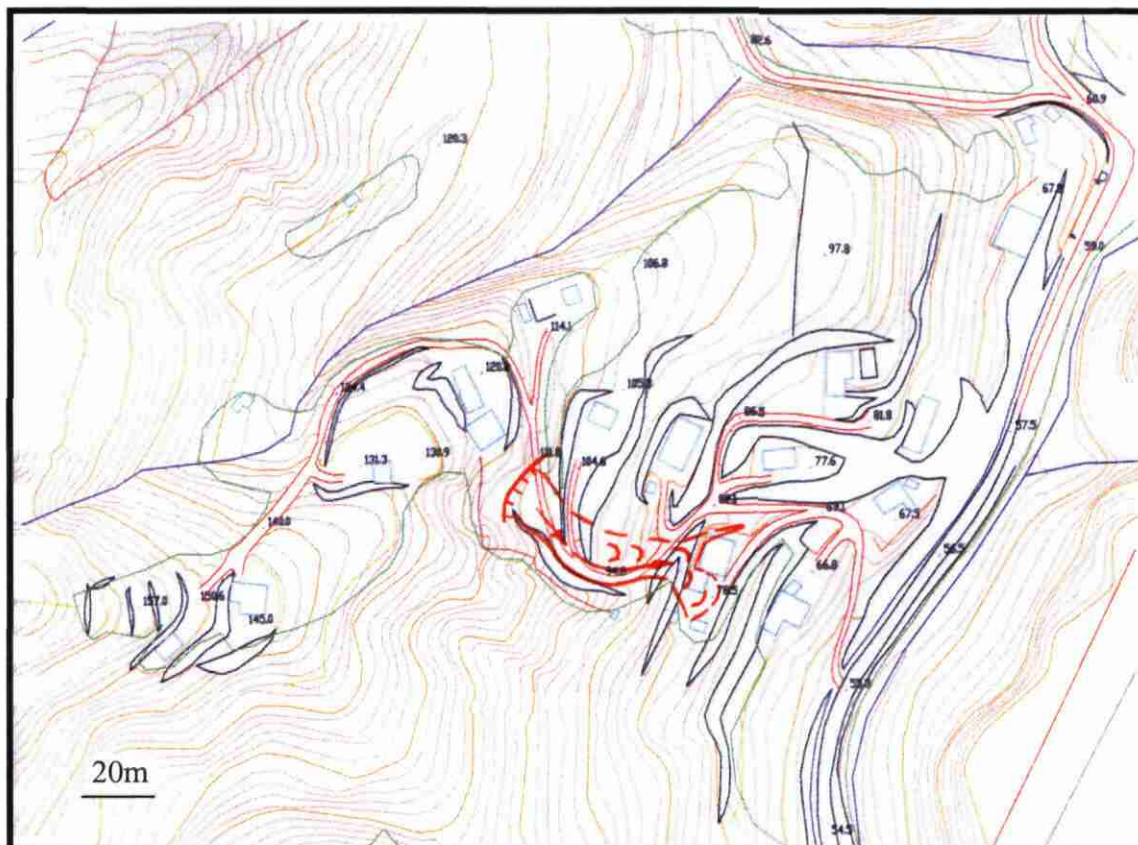


Fig. 26 – Plan de situation du glissement de Yahoué

Nature des mouvements de terrain

Ce qui frappe dans ce phénomène est la grande quantité de boue fluide mobilisée. La partie supérieure du glissement ne montrait pas de paquets homogènes inclinés à contre-pente vers l'amont comme c'est le cas dans les glissements rotationnels typiques. Au contraire, la partie issue de la niche d'arrachement s'était complètement écoulee et largement étalée en contrebas en un lobe gorgé d'eau. Le phénomène répond donc plus à un modèle mixte de **glissement-coulée** accompagné d'une **solifluxion** résultant de la saturation en eaux d'un horizon argileux dont les matériaux avaient franchi la limite de liquidité à la suite d'un épisode de pluie particulièrement abondant. Le phénomène a probablement été rapide. Cela implique par conséquent un niveau assez élevé de dangerosité.

Signalons que l'examen des photographies aériennes (dont certaines en couleurs ou à l'échelle déjà précise du 1 / 8 000) et de la carte topographique la plus précise (1 / 2

000, figure 26) n'ont pas permis de reconnaître visuellement de signes d'instabilité précurseurs. La petite échelle du phénomène en sans doute la cause.

Dans ce secteur de Yahoué, les signes d'arrachement et de mouvements de terrains actifs sont relativement rares. Il est fort probable que les aménagements pratiqués dans cette zone de forte pente, en modifiant le réseau de drainage naturel et en amenant des surcharges locales sur un matériau propice aux instabilités, ont conduit à la déstabilisation du versant. Les fortes pluies ont évidemment été le facteur déclenchant.

Le confortement d'une telle zone est techniquement possible bien que la question de son financement reste entière. Une première étude géotechnique doit déterminer la nature et l'épaisseur des zones d'argile d'altération, ainsi que la présence ou non de discontinuités en profondeur. Une auscultation de la zone du glissement pour suivre l'évolution du versant est aussi nécessaire. Ces études doivent permettre de déterminer si l'on est en présence de glissements potentiels profonds ou de mouvements plus superficiels (ce qui semble plus probable). Elles doivent aussi déterminer le type de construction adaptée à un tel milieu. Le confortement et l'assainissement (schéma de circulation des eaux) de la zone peuvent alors être entrepris.

9.1.2. Glissement de Nondoué (commune de Dumbéa)



Fig. 27 – Localisation du glissement de Nondoué

Le glissement de Nondoué, sur la commune de Dumbéa, s'est produit dans la nuit du 29 février 2000 dans le lotissement des Hauts de Nondoué. Les dégâts ont été limités, car aucune habitation n'a été détruite, la trajectoire du glissement, puissant au

demeurant, n'ayant pas intercepté de constructions. Cependant l'évènement a marqué les esprits car sept familles avaient reçu l'ordre d'évacuation. L'extrémité aval du glissement avait traversé une route en contrebas, recouverte sur environ deux mètres de hauteur, pour s'arrêter contre le mur d'une villa. Par ailleurs les conséquences financières pour les propriétaires touchés ont été importantes. Le glissement s'est déclenché la nuit à l'occasion de très fortes précipitations. Il est assez semblable dans ses mécanismes au précédent.

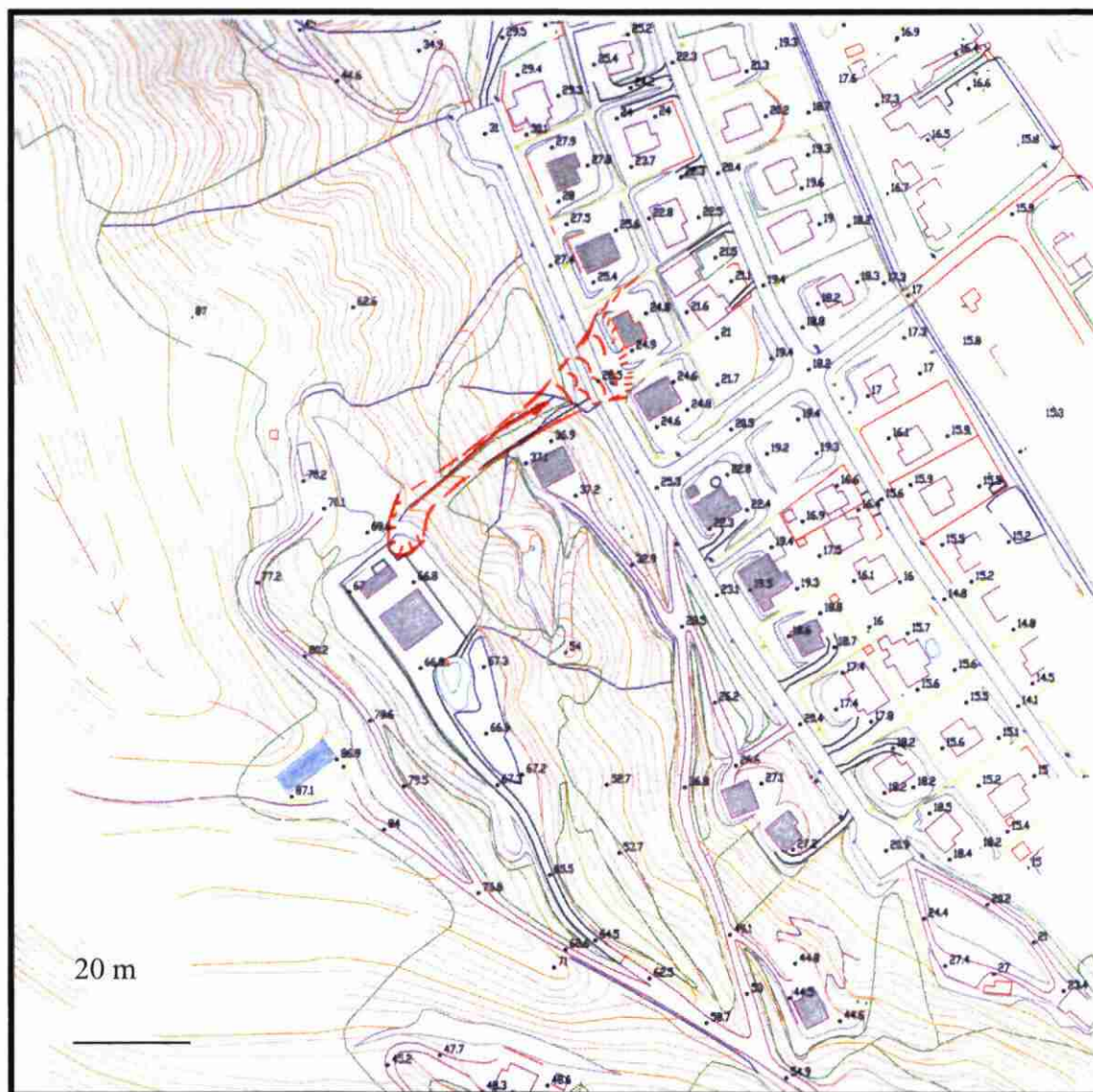


Fig. 28 – Plan de situation du glissement de Nondoué

Une polémique, dont la presse s'est fait l'écho, a eu lieu à cette occasion, les riverains ayant accusé les fuites d'un réservoir d'être à l'origine du phénomène par infiltration dans les terrains. Cette allégation n'a pas résisté à l'observation de terrain, le réservoir n'étant pas dans le même bassin versant que la zone du glissement. En outre des mesures in situ de la teneur en chlore de l'eau du réservoir (fortement chlorée) et de celle du glissement (chlore indétectable) on confirmé, s'il était nécessaire, qu'il n'y avait

pas de lien entre les deux. Cet aspect n'est pas évoqué ici anecdotiquement. Les réservoirs sont couramment, et ce à tort ou à raison, incriminés dans les problèmes de mouvements de terrain en milieu urbain.

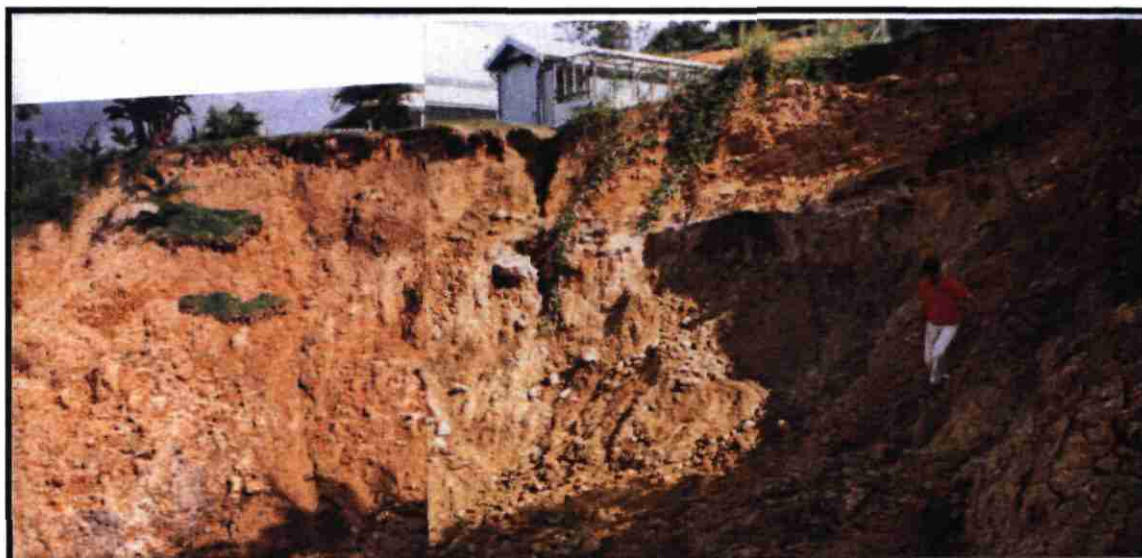


Fig. 29 – Glissement de Nondoué : Vue de la niche d'arrachement
(on aperçoit l'ancien niveau du sol qui traverse en oblique toute la niche)

Description des désordres

Une niche d'arrachement s'est ouverte dans une zone de remblais et d'argile sur quatre à cinq mètres de hauteur. La coupe du talus ainsi mis à jour laissait voir une épaisseur de deux à trois mètres d'argiles, surmontées par un ancien sol (caillasse siliceuse), recouvert à son tour par deux mètres de remblais argileux. Une source sortait à cette interface.



Fig. 30 – Glissement de Nondoué : Vue vers l'aval

A l'aval, une grande tranchée avait été ouverte par l'écoulement de l'eau, qui avait donc du être important, formant une ravine au milieu de deux levées d'argiles boueuses. Cette partie se prolongeait par une langue boueuse, encore relativement bien canalisée dans la pente. Plus bas elle commençait à s'étaler, puis avait traversé un bouquet de niaoulis, dont certains étaient couchés ou en partie déracinés. Enfin elle avait atteint la plaine et avait eu encore assez d'énergie pour traverser une route, dont la pente transversale était nulle, la recouvrir sous deux mètres d'épaisseur puis enfin heurter un bâtiment et s'étaler dans les brousses alentours. Des blocs rocheux, rares heureusement, avaient été entraînés avec la boue. Les plus gros avaient un volume de l'ordre du demi m³. De l'aval jusqu'à l'amont, le phénomène s'étend sur 120 mètres pour une dénivellation de 40 mètres. La pente est de 50 % dans les 40 mètres supérieurs.

Selon les déclarations des habitants, le phénomène avait été très rapide, comme une "chasse d'eau".

Géologiquement, la zone est constituée par les schistes et argilites crétacés du flanc nord de l'anticlinal de Katiramona. Il est à souligner que le pendage des bancs d'argilite est conforme à la pente générale de ce versant NE, ce qui est un facteur favorable classique de glissement "bancs sur bancs". Ces formations sont en général fortement altérées sur un à plusieurs mètres d'épaisseur. De petits arrachements étaient visibles dans les talus çà et là.



Fig. 31 – Glissement de Nondoué : Vue depuis le bas

Nature des mouvements de terrain

Comme dans le cas précédent à Yahoué, on est frappé par la quantité d'eau impliquée dans le phénomène et par la liquéfaction des terrains. En ce sens il s'agit, là aussi, d'un autre cas de glissement-coulée ou solifluxion. Il semble cependant que le phénomène ne soit pas entièrement naturel et que les rejets d'eau des villas les plus en amont n'étaient pas contrôlés. Le plan de la figure 28 montre très nettement que le glissement de terrain s'est produit sur le tracé d'un petit creek, marqué par une ravine. Les terrassements à l'altitude 70 mètres, dont les déblais ont été mis à nu dans la niche d'arrachement, ont sans doute également une part de responsabilité dans la survenue du phénomène. Ces terrassements ont en effet obturé la tête de la ravine, l'eau n'ayant plus d'autre solution que de s'écouler à l'interface sol naturel-remblais. Lors d'un épisode de forte précipitation, l'équilibre a été rompu. Préparée par les infiltrations en provenance de l'amont, la mise en charge des terrains (naturels et artificiels), a abouti à la rupture.

Solutions de confortement

Les préconisations ont essentiellement porté sur le drainage (tranchées drainantes) des zones d'écoulement, le reprofilage ou l'enlèvement des anciens remblais.

9.1.3. Glissement et solifluxion aux Jardins de Plum (commune du Mont-Dore)



FIG. 32 – Localisation des glissements du lotissement des Jardins de Plum

Description des désordres

Le lotissement des Jardins de Plum est occupé par des habitations légères (FSH). Aménagé entre 1995 et 1997, des désordres sont apparus : zones d'instabilité, venues

d'eau importantes, glissements et affaissements de terrain. Ces troubles ont contraint à la construction d'ouvrages de confortement importants, principalement des drains et enrochements et à l'abandon d'une partie des aménagements prévus. Des affaissements sont encore sensibles dans certaines maisons, avec fissuration ou décollement des dalles supportant les bâtiments.

Contexte géologique

Le lotissement est installé à proximité du col de Plum, sur une zone de pente douce (4 % en moyenne) au pied du massif minier. Le substrat est constitué par des basaltes très altérés, argilifiés en surface sur des épaisseurs variables, de un à quelques mètres, montrant des couleurs rouges, pourpres et blanches panachées typiques. Cet ensemble profondément altéré est recouvert par un manteau discontinu d'épandage de gravillons et latérite remaniés, issus du massif minier du Mont-Dore. De nombreuses venues d'eau sourdent dans cet ensemble, entre les altitudes 40 et 60 mètres, marquées par une végétation hydromorphe (joncs). Elles sont très probablement liées à la proximité du massif minier, plus précisément au contact faillé entre ce dernier et les basaltes altérés. La nature de ce contact (faille verticale ou chevauchement) et les rapports précis entre péridotites et substrat basaltique n'apparaissent pas clairement car un masque latéritique et ses produits d'épandage le recouvrent.

On est néanmoins clairement dans un dispositif classique où l'eau du réservoir naturel que constitue le massif minier est contrainte de ressurgir au contact des argiles étanches du substrat volcano-sédimentaire. Ces sources sont de même nature et en relation avec celle du Col de Ploum. Eau et argile d'altération constituent les éléments naturels qui engendrent les instabilités du secteur.

Les travaux de confortement ne laissent plus transparaître actuellement le détail des zones de désordre. L'examen des photographies aériennes montre que celles-ci sont très anciennes et étaient déjà visibles dès 1954. Les photographies de 1976 sont très explicites (figure 33). Plusieurs niches d'arrachement, des fentes de traction semi-circulaires et concentriques, et des langues de produits déstructurés s'étalant vers l'aval, s'individualisent dans le secteur. La plus grande des fentes de traction peut se suivre sur 800 mètres de longueur !

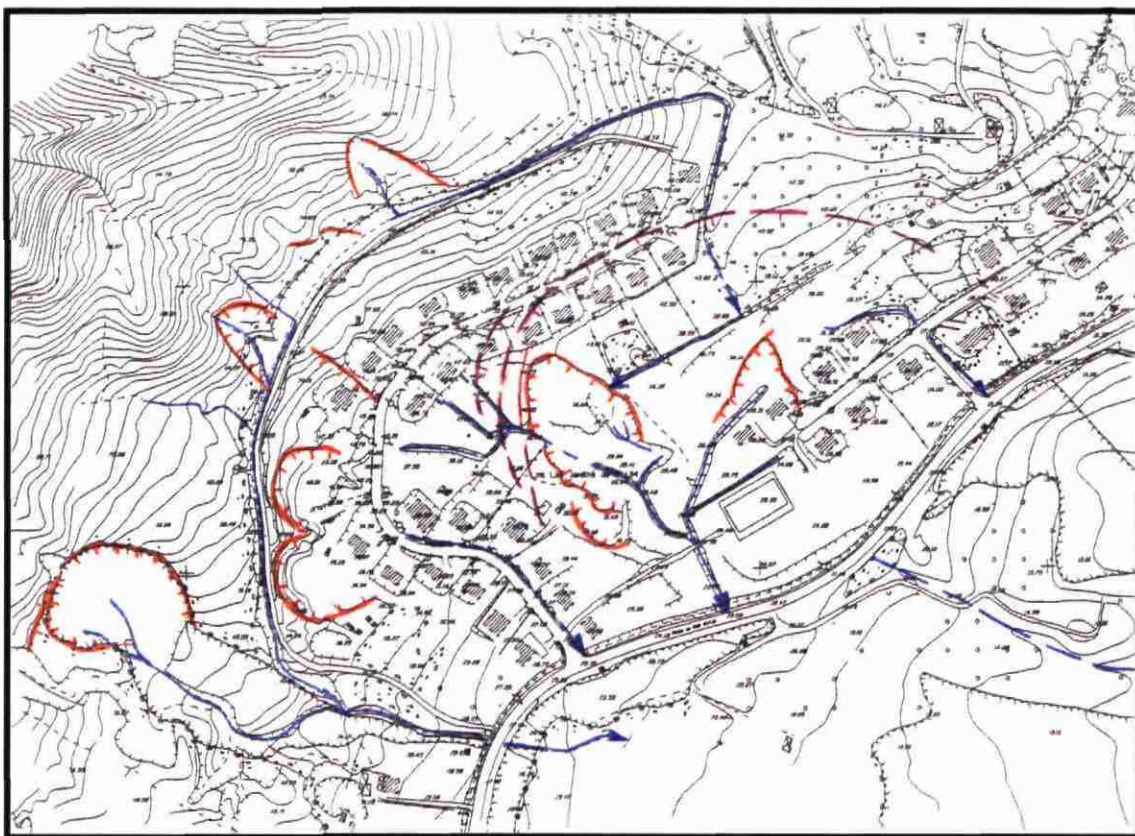


Fig. 33 – Glissement du lotissement des Jardins de Plum : Eléments sur les désordres
(Niches d'arrachement, fentes de traction, réseau de drainage)

Ces terrains ont été remaniés et reprofilés par les travaux postérieurs, cependant la morphologie, la longueur des langues et la faible pente du secteur suggèrent une certaine fluidité des produits étalés à l'aval. L'hypothèse de coulées de solifluxion, impliquant une forte proportion d'eau, détachées d'une zone de glissement amont paraît la plus probable. La simple observation de ces documents aurait pu à l'époque alerter les aménageurs et permettre une prise en compte précoce des désordres.

9.1.4. Glissements en rive droite de la vallée des Koghis (commune de Dumbéa)



Fig. 34 – Localisation des glissements de la rive droite de la vallée des Koghis

Sur la rive droite de la vallée des Koghis, un certain nombre de **glissements de terrains** ont été répertoriés, au sein des schistes sénoniens particulièrement altérés. On recense une quinzaine de glissements, d'ampleur variée, atteignant au maximum 200 m en largeur et concentrés sur 2 km, ce qui représente une densité de désordres relativement inhabituelle dans cette formation. Ces glissements ont déjà été signalés dans une étude d'impact pour la propriété SC Koghis Deer Farm (SEFP, 1996). A l'opposé sur la rive gauche, on ne relève que quelques zones d'arrachements mineures.

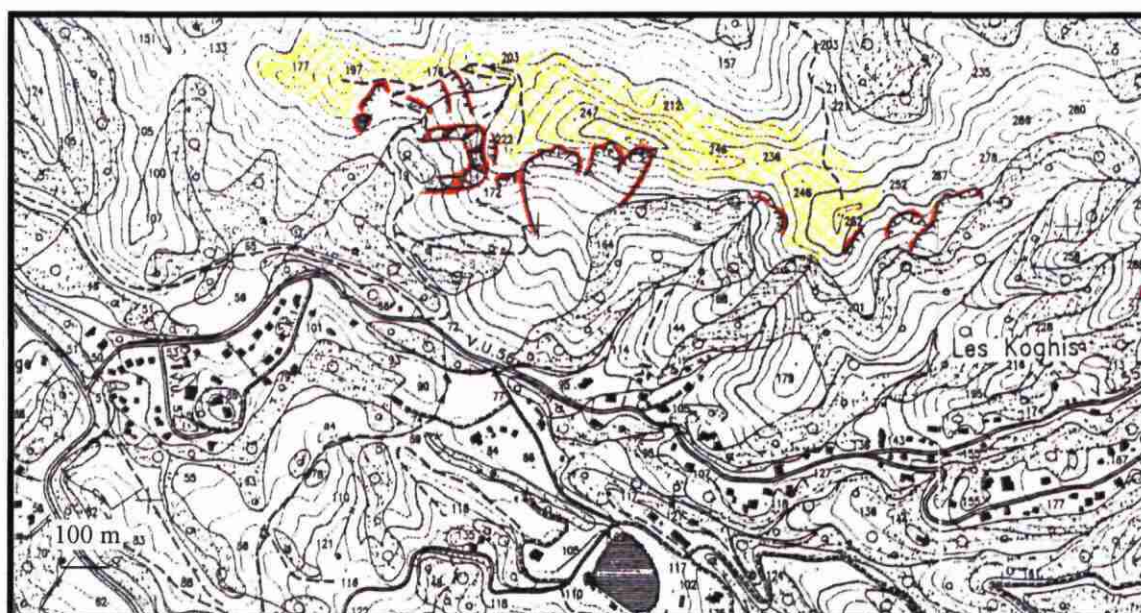


Fig. 35 – Positionnement des glissements (niches d'arrachement en rouge) sous les listvenites (en jaune), en rive droite de la vallée des Koghis

Les glissements de terrain de la rive droite se produisent dans un contexte géologique particulier. Une lame de listvénite ou "mur de silice" (serpentinite silicifiée altérée) occupe en effet la crête située au-dessus des désordres, et la majorité des niches d'arrachements se superposent au contact listvénite/schistes. Ce "mur de silice" perché, poreux et à structure caverneuse, joue en fait un rôle de réservoir. Le contact avec les schistes sous-jacents se fait par une zone d'altération argileuse étanche et l'eau emmagasinée dans la listvénite est contrainte de ressortir à cette interface. Plusieurs sources ont été relevées dans ce contexte. En outre dans toute cette zone, les schistes sont particulièrement altérés et argilisés. Ces deux facteurs, sources et composition argileuse sont les facteurs intervenant dans l'occurrence des glissements de terrain.

Une étude rétrospective au moyen des photographies aériennes a permis de voir que, entre 1971 et 2000, certaines zones de glissement se sont cicatrisées au cours du temps, alors que d'autres instabilités nouvelles apparaissaient. Il y a donc une certaine pérennité du phénomène dans le temps. Si certains d'entre eux, vers l'Ouest, sont relativement superficiels, d'autres, vers l'Est, ont une ampleur inquiétante (100 mètres en largeur). Dans les secteurs les plus pentus, les glissements peuvent s'accompagner de chutes de blocs de silice.

Ces glissements peuvent engendrer des **problèmes géotechniques localement sérieux** et la ruine des ouvrages qui se trouveraient dans les zones de désordres.

9.1.5. Le glissement de terrain du lotissement des Santals (commune du Mont-Dore)



Fig. 36 – Localisation du glissement du lotissement des Santals

Description des désordres

Il s'agit d'un glissement de terrain dans les "schistes de substrat" prenant place dans le fond d'un vallon, sur le flanc nord d'une colline envahie par la savane à Niaouli, ce qui en fait un phénomène relativement inattendu, dans un tel contexte, habituellement sec. Des mouvements limités ont été constatés dans le talus amont de la plate-forme aménagée pour la construction de la villa la plus en amont dans le vallon (figure 33). Des gabions ont été disposés pour contenir les déplacements du terrain. Leurs déformations montrent qu'ils subissent une poussée limitée des terrains sus-jacents. De l'eau, sous forme de suintements et ruissellements, doit par intermittence s'écouler de chaque côté de ce parement. Les indices de mouvements sont circonscrits à ce talus amont, et on ne note pas de fissures sur la plate-forme elle-même. Toutefois, la menace de mouvements plus importants a contraint le propriétaire à évacuer puis à déplacer son habitation.

Les désordres intéressent une zone de 50 mètres de large, pour une centaine de mètres en longueur. La pente est de 23° en moyenne. On distingue depuis l'amont vers l'aval, les éléments habituels dans un glissement de terrain, à savoir :

- vers le haut (cote 100 à 50 mètres), sous le contact avec d'anciennes formations d'épandages, de nombreuses marques et indices d'arrachements, dans une zone de morphologie concave,
- au niveau de la cote 50, un replat, avec une zone de source et un petit marécage où l'eau affleure au milieu d'une végétation hydromorphe (joncs, gros niaoulis),

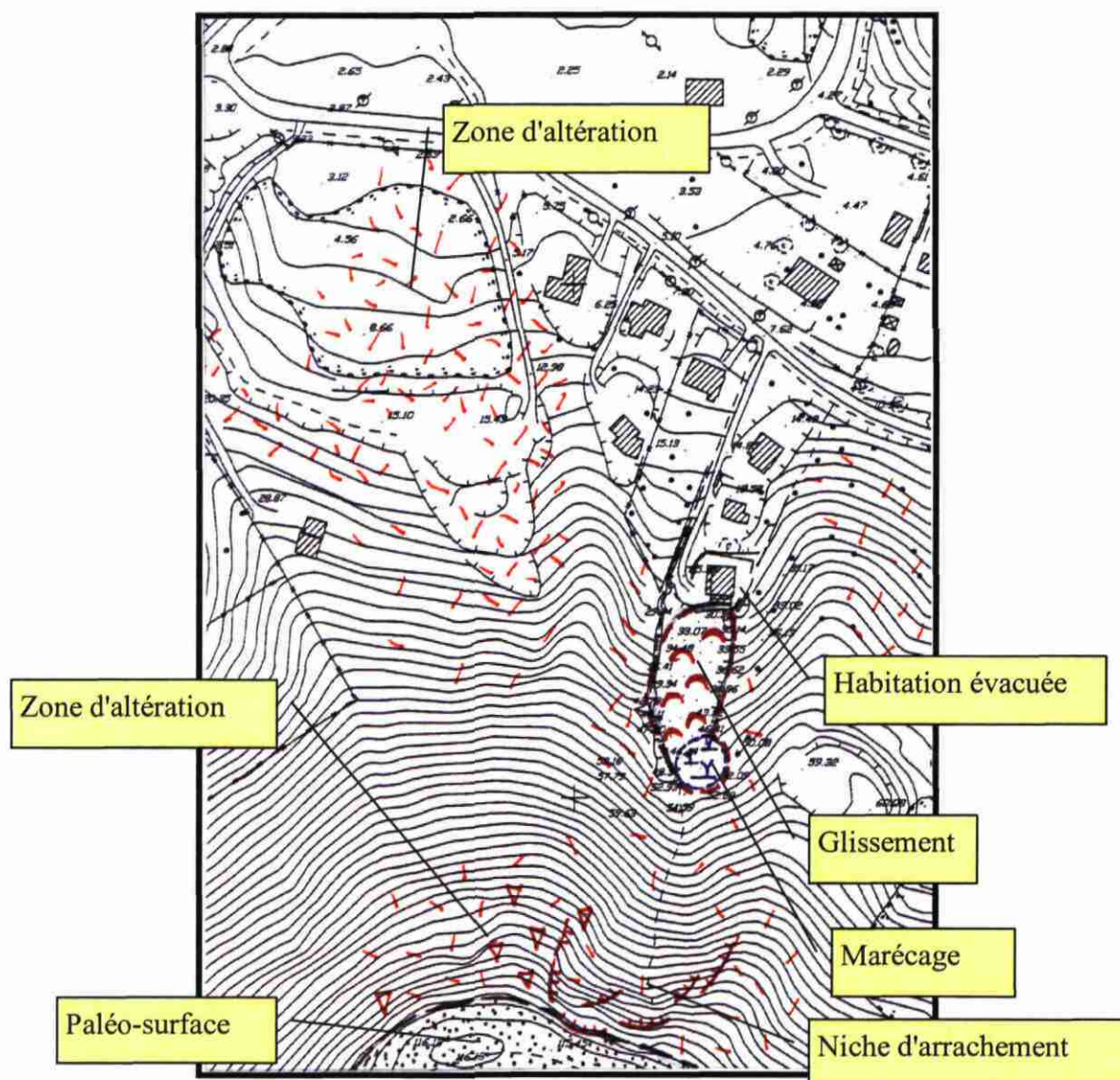


Fig. 37 – Glissement du lotissement des Santals : Eléments sur les désordres

- en dessous de cette cote et jusqu'à 25 mètres d'altitude, une zone convexe, formant bourrelet, correspondant à l'accumulation des terrains instables déplacés.

C'est dans cette zone que l'ouverture d'un talus a provoqué la reprise des mouvements. Le matériau visible dans ce parement correspond à une accumulation de schistes altérés et remaniés. Selon les riverains, la source ne tarit jamais. Le marécage est actuellement drainé et canalisé vers le bas du lotissement, par un dispositif consistant en une tranchée dans laquelle a été posée un tuyau d'une section de 50 cm, en rive gauche du vallon. Ces travaux ont été faits "à la main", par des particuliers, sans ouverture de piste ou interventions d'engins. C'est une bonne mesure d'assainissement, réalisée dans des conditions sécuritaires. Des travaux plus amples, effectués sans précautions, auraient pu accroître les désordres et aggraver le phénomène.

L'épaisseur de la tranche de terrain concernée par le phénomène et donc la profondeur du niveau de décollement n'est pas connue. Il semble cependant qu'elle ne soit pas très importante. L'absence de fissure au niveau de la plate-forme, ainsi que d'indices de mouvements dans les habitations situées à l'aval, plaide également en faveur d'un glissement peu profond, d'ampleur limitée.

Contexte géologique

Le substrat de la zone est constitué par les argilites crétacées. Le sommet de la colline, entre les cotes 110 et 120 m correspond à une ancienne surface d'altération et d'épandage. Elle est jonchée de gros blocs de silice résiduels, emballés dans une matrice de produits latéritiques (grenaille, terres rouges) remaniés. L'altération des schistes en argiles, prenant des couleurs bariolées par fixation des oxydes et hydroxydes de fer, est une constante dans tout ce secteur. On peut voir à proximité d'autres zones particulièrement argilisées, en particulier dans une excavation située à 200 mètres vers l'Ouest, sur le même flanc, où des indices de tassements sont notables, ou encore dans l'ancienne carrière située au bord de la RP 2, à 2 km vers le Sud-Ouest. Cette altération est spatialement liée à la paléosurface d'épandage. Elle traduit la présence d'un ancien niveau de façonnement géomorphologique aujourd'hui incisé par l'érosion et se retrouvant en position perchée.

Dans ce contexte, le glissement peut s'expliquer assez simplement. La formation d'épandage latéritique à blocs de silice ayant une bonne perméabilité de porosité joue un rôle de réservoir perché, au-dessus des schistes argilisés donc imperméables. L'eau ainsi stockée en crête est obligée de ressurgir au niveau de sa sole étanche. Les argiles gonflées par l'eau emmagasinée provoquent les mouvements de terrain dans la pente.

Conclusion

Le glissement de terrain du lotissement du Santal, est somme toute de dimension modeste et demeure très localisé. Il n'affecte qu'une habitation individuelle et aucun désordre n'est visible ou n'a été signalé plus en aval. Il s'agit donc a priori d'un phénomène épidermique.

9.1.6. Glissements du lotissement Ngéa (commune de Nouméa)

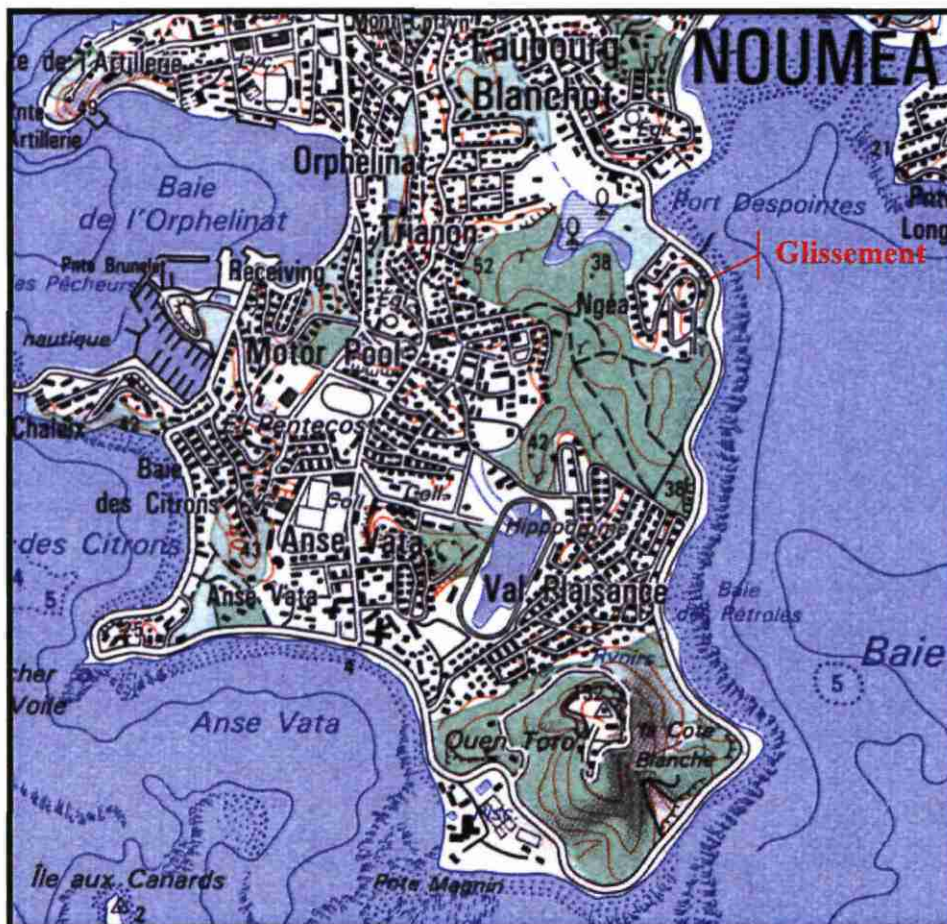


Fig. 38 – Localisation du glissement de Ngéa

Les phtanites sont des roches siliceuses se présentant en petits bancs d'épaisseur décimétriques amygdamaïres, séparés par de minces interlits argileux. Dans la région de Nouméa les occurrences de phtanites correspondent vraisemblablement à des olistholites ou blocs de dimension parfois kilométriques emballés dans l'olistostrome de la "Formation de la Cathédrale". Dans ces accumulations chaotiques, la roche est généralement fortement plissée et fracturée. On peut voir de nombreux affleurements caractéristiques de ces roches dans le Sud de la péninsule de Nouméa. Le massif du Ouen Toro en est un exemple typique.

Les phtanites sont généralement très altérées et leurs reliefs sont souvent empâtés par leurs produits de démantèlement et d'altération. Dans certains cas les produits d'épandages peuvent déborder sur les formations adjacentes. Les qualités géotechniques de ces recouvrements sont piètres et causent régulièrement des désordres dans les aménagements (Maurizot, 1986).

Les profils d'altération typiques sont constitués par :

- la roche mère dans laquelle l'altération progresse par de nombreuses fractures et joints,

- des argiles bariolées blanches et rouges à résidus siliceux en partie "digérés" (smectites gonflantes),
- un horizon supérieur de "caillasse" résiduelle constitués par des éléments phtanitiques dépigmentés de couleur blanche, sensible à l'érosion.

Les phtanites non altérées sont des roches dures (silice presque pure) qui forment généralement reliefs. Dans la péninsule de Nouméa, les proéminences les plus élevées sont armées par la formation phtanitique. Cependant, l'extrême fragmentation de la roche mère, résultant de son intense déformation, favorise la pénétration de l'altération. Celle-ci est très irrégulière et peut se propager jusqu'à plusieurs dizaines de mètres en profondeur. La conjonction de terrains argileux et de fortes pentes génère les nombreuses instabilités constatées.

Parmi les nombreux glissements engendrés dans ce contexte, celui du lotissement Ngéa a été le plus manifeste. Il a affecté le talus de la promenade P. Vernier dont une partie s'était effondrée, menaçant les habitations situées au-dessus. Au pied du glissement, un bourrelet d'accumulation avait provoqué des désordres importants dans la voirie dont le revêtement avait été soulevé et formait une protubérance de un à deux mètres de hauteur, empêchant la circulation sur la moitié de la voie. Les principaux mouvements se sont produits dans les années 80. Des travaux de confortement ont été réalisés en 2000.

On pourrait également citer le glissement qui s'est produit lors de l'ouverture de la tranchée de la SAV Express à 2,5 km au SW de Païta, lors du franchissement d'une zone de phtanites altérées sur 5 à 6 mètres de hauteur. Cette zone a été confortée progressivement par l'installation de drains à la partie supérieure des talus, d'enrochements en pied de talus et par revégétalisation.

D'une manière générale la probabilité de glissement n'est jamais négligeable sur cette formation. Les désordres seront d'autant plus inattendus qu'ils pourront se produire en domaine de faible pente mais de forte épaisseur d'altérite. Il conviendra toujours de redoubler de précaution dans les aménagements sur zones à substrat phtanitique.

9.1.7. Glissements de Poindimié (commune de Poindimié)

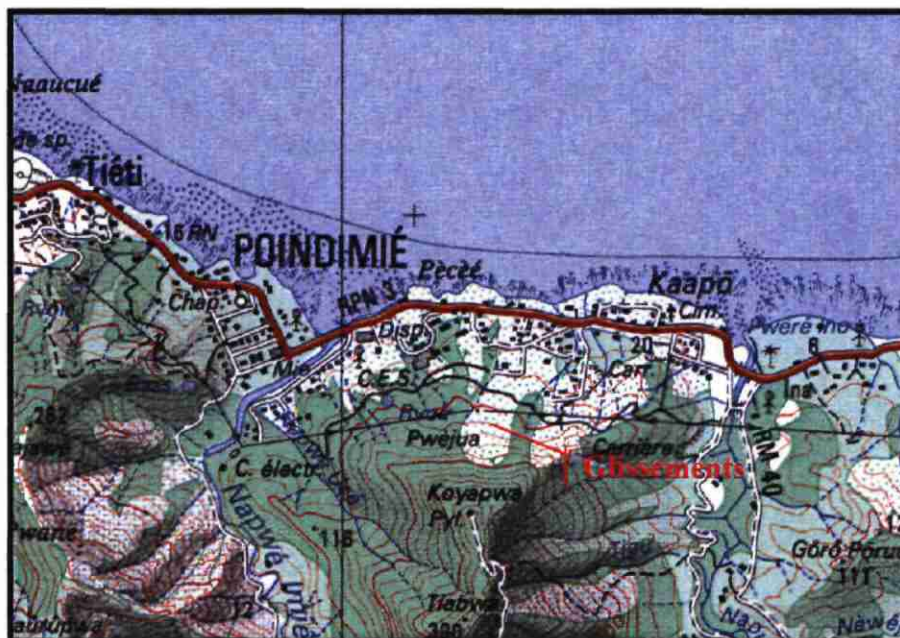


Fig. 39 – Localisation des glissements de Poindimié

Le versant nord du massif de Koyaboa sur la commune de Poindimié a été l'objet de plusieurs mouvements de terrains.

Les instabilités de ce secteur sont signalées et ont fait l'objet d'études (LPTB, A2EP) à plusieurs reprises (1978, 1982, 1983, 1986, 1992). Les principaux désordres ont eu lieu derrière le collège (bâtiment de l'ALEP et villas de direction du CEG). Elles ont entraîné temporairement l'évacuation des logements concernés. Les zones de mouvements et les traces d'instabilité étaient si nombreuses qu'elles ont nécessité une étude de synthèse (rapport A2EP de 1992).

Description des glissements

Deux zones principales de glissements (figure 35) s'individualisent dans un secteur de topographie et de morphologie un peu confuse où crêtes et talwegs sont désorganisés.

Glissement 1 derrière l'ALEP : Il prend naissance à la cote 100 m. La longueur de la masse glissée est de 120 mètres pour une largeur de 40 à 50 mètres et un dénivelé de 70 mètres (pente de 15°). A l'époque des mouvements on pouvait observer de l'amont vers l'aval les éléments caractéristiques d'un glissement de terrain :

- une série d'escarpements dans la partie amont (hauteur parfois supérieure à 1 mètre),
- un réseau de crevasses dans le corps de la masse affectée par les mouvements,
- des bourrelets d'accumulation vers l'aval.

Les différentes observations en affleurement ou en sondages estimaient la hauteur des terrains meubles entre 3 et 8 mètres et le volume mobilisé à 28 000 m³. Les venues d'eau naturelles, signalées par des mares, des sources et des zones de suintements,

étaient aggravées par les déversements d'une ancienne canalisation cassée. En plusieurs endroits, l'eau sourdait à l'interface roche saine / argile de décomposition. Le front de la coulée de boue arrivait juste à l'ALEP mais il n'y avait pas de matériaux accolés à l'ouvrage.

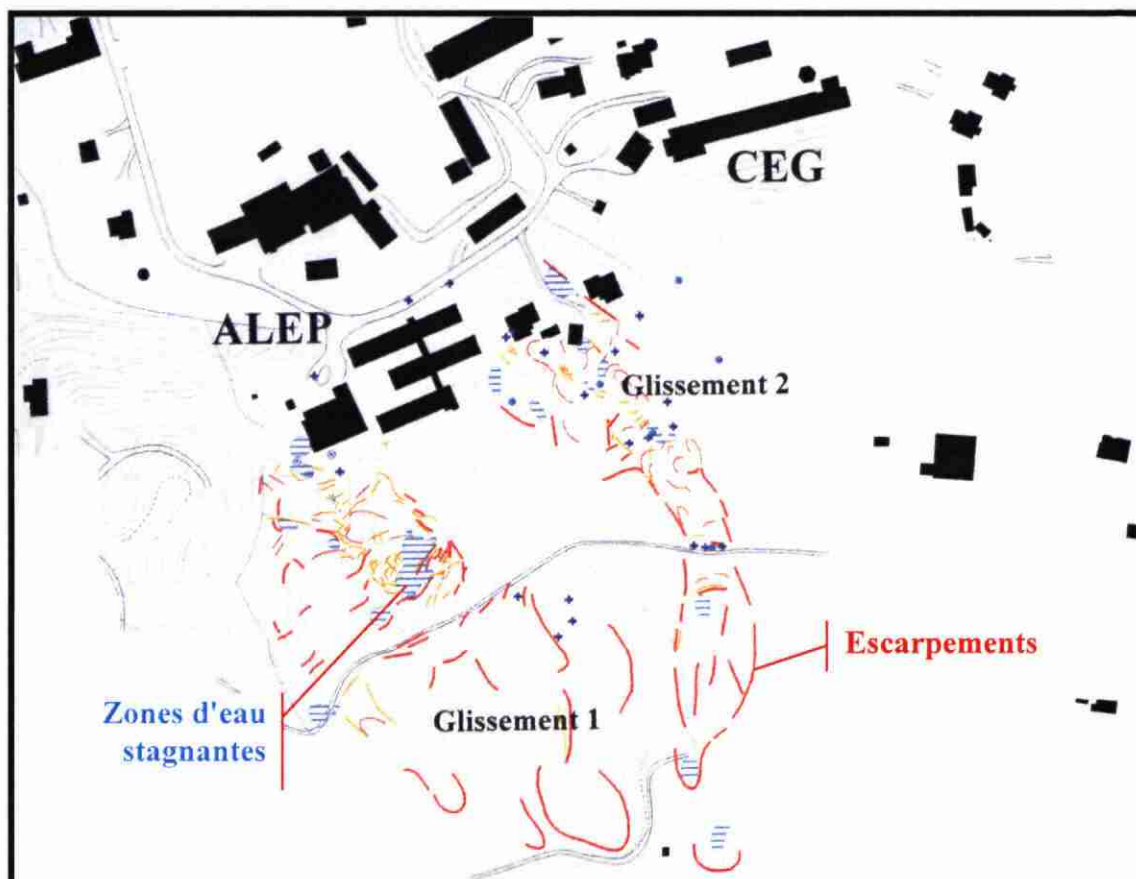


Fig. 40 – Plan de localisation des glissements de Poindimié

Glissement 2 derrière les villas du CEG : Ce glissement avait provoqué des dégâts à l'une des villas administratives du collège. Il débute à la cote 100 m sous la forme d'un effondrement formant une petite dépression où l'eau s'accumulait temporairement. La longueur de la masse glissée est de 150 mètres, pour 30 à 40 mètres de large. La dénivellation de l'ensemble est de 30 mètres pour une pente moyenne de 13°.

Le corps du glissement est constitué par une succession de petits compartiments séparés par des talus et des bourrelets et parcouru par des fissures. Dans l'axe du glissement se trouve un talweg enfoncé de 2 à 3 mètres. Au front de la coulée, les matériaux avaient soulevé la dalle de base du garage des logements de fonction du CEG, de façon spectaculaire. Toutefois aucune trace de désordre n'était visible dans les structures de l'habitation principale vraisemblablement fondée sur la roche saine. La hauteur des terrains meubles était estimée à 5 mètres et le volume total affecté à 26 000 m³.

Travaux effectués

L'étude géotechnique du LBTP de 1983 s'est accompagnée de 5 sondages carottés, 15 pénétromètres et d'essais de laboratoire. En 1984, dans le cadre d'une étude plus large, 14 essais pénétrométriques supplémentaires ont été réalisés. En 1989, un inclinomètre a été posé à l'amont de la villa directoriale du CEG. Ce glissement n° 2 présentait des signes d'évolution plus importants que le glissement n° 1. Le sondage avait atteint la roche saine à 12 mètres de profondeur, après avoir traversé les formations d'altération. En 1992, le conduit de l'inclinomètre était cisailé à 5,40 mètres de profondeur.

L'ensemble des mesures effectuées à l'époque montre que la couche altérée, susceptible de se mettre en mouvement, pouvait atteindre localement 5 à 7 mètres d'épaisseur, ce qui est relativement inhabituel et important dans cette région. L'étude avait conclu à la nécessité de poser des drains (éperons drainants ou drains subhorizontaux) afin de mieux contrôler les circulations d'eau du secteur et en rabattant la nappe.

Contexte géologique

Dans tout le secteur de Poindimié, le bed rock est constitué majoritairement de basaltes, les intercalations schisteuses étant subordonnées. Ce substrat est plus sensible à l'altération, qui s'y développe plus profondément que sur les schistes. Il détermine par ailleurs des reliefs et des pentes plus importantes du fait de sa plus grande résistance mécanique. La conjonction de ces deux facteurs détermine les instabilités potentielles.

Nature des mouvements de terrain

Les glissements de Poindimié sont caractérisés par des rapports largeur sur longueur élevés, de l'ordre de 1 pour 3 (30 à 40 mètres de large au maximum pour 100 à 150 mètres de longueur). Le type de glissement rencontré est mixte. Il présente les caractéristiques de glissement rotationnel en tête de glissement. Toutefois il est à caractère translationnel dans sa plus grande partie, car il est limité par le substrat non altéré, sorte de plancher constituant une frontière mécanique et hydrogéologique. Il s'agit plus en fait d'une succession d'écailles superficielles glissant comme les éléments d'un jeu de cartes le long de la pente, la totalité de la tranche altérée se décollant en plusieurs panneaux.

En période de crise pluviométrique, la saturation en eau des terrains provoque à la fois une surcharge et une diminution de leurs qualités géomécaniques. Il y a alors mise en pression des zones de circulations d'eau à l'interface substrat rocheux - argile de décomposition qui sert alors de niveau de décollement privilégié.

Des facteurs aggravants venant rompre un équilibre naturel fragile peuvent intervenir : ajout de remblais créant une surcharge, ouvertures en déblais produisant une suppression des appuis en pied de talus, modification du cheminement des écoulements naturels générant des perturbations hydrauliques.

Conclusions

Les glissements de Poindimié ont été mobiles entre les années 78 et 92 et ne semblent plus donner de signes d'activités depuis plusieurs années. Cela ne signifie en rien que le phénomène ne peut pas reprendre. L'auscultation ayant été abandonnée progressivement, comme dans hélas beaucoup de cas, on manque d'informations

quant à la stabilisation de l'ensemble. Toutefois, il ne semble pas y avoir eu de manifestations superficielles notoirement visibles ou remarquables de mouvements depuis presque dix années.

L'ampleur du phénomène doit être mesurée à sa juste valeur. La tranche de terrain susceptible d'être mise en mouvement est bien caractérisée dans sa nature (argile d'altération) mais mal reconnue dans son épaisseur (maximum de 7 mètres, plan de cisaillement dans le seul inclinomètre posé à 5,4 mètres).

Concernant les aménagements actuellement exposés à l'aval des zones de glissements, on peut porter l'appréciation suivante : Les constructions situées à l'aval semblent ancrées dans la roche saine et leur structure même n'a pas été affectée. Il ne semble donc pas y avoir de risque de mouvements au niveau des fondations de ces ouvrages. Il s'agit plus d'un problème d'impact des matériaux venant de l'amont. Les désordres à redouter sont soit la réactivation des mouvements au sein même des talus ouverts côté montagne, soit la mise en mouvement d'une coulée boueuse venant de plus haut. Dans une zone géographique abondamment arrosée par les précipitations, ces possibilités ne peuvent pas être écartées.

Concernant la zone même des glissements on peut dire clairement que cet environnement instable y restreint considérablement voire condamne toutes possibilités d'aménagements, notamment à des fins d'habitations. Les travaux qui pourraient y être pratiqués pour la voirie ou sur les drainages devraient faire l'objet des plus grandes précautions et le couvert végétal devrait y être préservé autant que possible.

9.1.8. Conclusion sur les glissements dans le substrat volcano-sédimentaire

Les désordres décrits précédemment intéressent une seule habitation (lotissement des Santals), un morcellement (Yahoué) ou un lotissement complet (lotissement des Jardins de Plum). Dans les sept cas de glissements présentés, cinq se produisent sur les schistes crétacés, un sur les basaltes, un sur les phtanites. Tous se produisent à partir de zones d'altération particulièrement développées. La plupart d'entre eux se déclenchent à l'occasion d'épisode de fortes précipitations. Dans quelques cas ce sont les aménagements pratiqués sans précautions qui sont le facteur déclencheur. Examinons plus précisément leurs différentes caractéristiques.

Nature des glissements

Les glissements les plus importants (Poindimié) peuvent atteindre 150 mètres de long pour près de 50 mètres de large. Il n'y a que peu ou pas de glissements rotationnels typiques. Dans la plupart des cas, les phénomènes, et par delà les mécanismes, correspondent plus à des **glissements translationnels** ou à des **glissements-coulées** dégénérant parfois en **coulées de solifluxion**. Cette nature peut s'expliquer par la géologie particulière du substrat, seule la tranche d'altération étant mise en mouvements, l'interface roche mère non altérée / roche altérée jouant le rôle de niveau de décollement souvent activé par les circulations préférentielles d'eau. Dans l'ensemble des exemples étudiés l'épaisseur d'altération la plus grande est de 12 mètres (Poindimié). Plus couramment elle oscille autour de 5 mètres. Ce chiffre relativement faible explique peut être l'absence de glissements rotationnels

caractéristiques qui ont besoin pour se développer de grandes épaisseurs de matériaux homogènes. La grande proportion de boue et la solifluxion s'expliquent par les précipitations exceptionnelles que connaît parfois le territoire.

Géologie des glissements

L'altération se développe indifféremment sur plusieurs types de substrats : schistes argileux alumineux, basaltes ferro-magnésiens, phanites siliceuses. La présence de l'altération semble plus être fonction de l'histoire géologique que de la nature du substrat. Elle semble peu litho-dépendante. Dans quelques cas (Koghis, lotissement des Santals) l'altération est associée à une paléosurface dont les reliques sont encore perceptibles dans le paysage. Ces lambeaux constituent un guide qui peut aider à estimer l'étendue des zones altérées et donc potentiellement sensibles. Mais dans la plupart des cas les règles de distribution des altérites nous échappent. Il y a beaucoup à faire dans ce domaine. Un programme de recherche serait nécessaire pour mieux comprendre cet aspect. Enfin, les mouvements peuvent être aggravés par des phénomènes de décollements "bancs sur bancs", lorsque la pente naturelle du versant est conforme à celle des formations géologiques (Nondoué).

Dangerosité

La dangerosité est proportionnelle aux volumes de matériaux mobilisables et donc à l'épaisseur de la zone altérée ainsi qu'à la quantité d'eau présente qui à son tour va contrôler la vitesse des mouvements. Le premier facteur est d'ordre géologique et peut donc être apprécié si les travaux de reconnaissance sont suffisants. Le deuxième facteur est d'ordre météorologique et n'est donc que difficilement maîtrisable. Il dépend d'une situation instantanée. On constate l'occurrence fréquente de phénomènes de liquéfaction (Nondoué, Jardins de Plum) accroissant la dangerosité du phénomène, les vitesses et les énergies libérées devenant plus importantes. En effet, les vitesses d'évolution des glissements simples sont de l'ordre du cm/jour en période normale (ce qui autorise une certaine surveillance et éventuellement permet de déclencher une alerte), avec des accélérations en période de pluie. Cependant en cas de crise pluviométrique aiguë, une liquéfaction des altérites et un écoulement rapide et brutal de boue peut se produire (Nondoué).

En résumé, dans les zones de faibles tranches d'altération il faut s'attendre à des phénomènes superficiels (tassements, glissements pelliculaires, décollements superficiels) peu dangereux pour les personnes mais pouvant être ruineux pour les aménagements humains, alors que dans les zones de fortes couvertures altéritique et dans le cas de solifluxion, l'impact sur les biens et les personnes peut être beaucoup plus dangereux.

Impact des aménagements

Dans plusieurs cas (Yahoué, Nondoué, lotissement des Jardins de Plum, Ngéa) on peut fortement soupçonner les aménagements pratiqués sans précautions d'être le facteur de réactivation ou de déclenchement (terrassements imposant une surcharge aux terrains potentiellement mobilisables ou modification apportée au réseau naturel de drainage). Mais le facteur fondamental reste quant à lui de nature géologique.

Prédictibilité

Lorsque les phénomènes d'instabilité (Koghis, lotissement des Jardins de Plum) sont suffisamment nombreux et étendus, ils peuvent être repérés par l'examen approfondi des photographies aériennes. A plus petite échelle, les désordres isolés (Yahoué,

Nondoué) sont imperceptibles sur ces documents. A l'échelle d'un bassin ou d'une vallée il est donc possible de réaliser une cartographie prédictive (Koghis). A l'échelle d'un lotissement ou d'un morcellement (Yahoué, Nondoué) seule une étude géotechnique avec des données de sub-surface (sondages, puits, tranchées, essais géotechniques normalisés) permettra d'apprécier le contexte et donnera accès à des paramètres tels que la profondeur de la couche altérée ou l'importance des circulations d'eau, qui présentent une grande variabilité. D'une manière générale il conviendra d'être vigilant en contexte géologique de paléosurface d'altération et dans le cas de morphologies avec signes d'hydromorphie.

Dans tous les cas l'amélioration de nos connaissances sur la distribution des formations d'altération et sur la morphogenèse des paysages sera une aide précieuse.

9.2. LES ECROULEMENTS

Les écoulements sont des phénomènes très distincts des glissements. Même si l'eau peut intervenir dans le déclenchement du phénomène, elle ne représente pas l'élément moteur principal du mécanisme. Les écoulements sont des phénomènes avant tout aériens, de vitesse rapide, donc dangereux. Il n'y a pas de signes prémonitoires.

9.2.1. Écoulement de la Ouaième (commune de Hienghène)



Fig. 41 – Localisation de l'écoulement de la Ouaième



Fig. 42 – Écoulement de la Ouaième vue depuis le NW

L'écroulement de la Ouaième s'est produit non loin de l'embouchure de cette rivière, dans la zone la plus escarpée de la portion côtière. Il n'y a eu aucune victime. La Route Provinciale Nord 3 a été complètement obturée sur 200 mètres par les amas de blocs rocheux. Le déblaiement a demandé des travaux importants.

La zone écroulée correspond à un panneau penté à 60°, de forme triangulaire, pointe tournée vers le haut. Sa hauteur est de 100 à 150 mètres, sa base de 200 mètres. On peut estimer l'épaisseur de la dalle écroulée à 15 mètres. Ces dimensions impressionnantes donnent un volume approximatif de 225 000 m³ à la masse écroulée. Une bonne partie de celle-ci est restée accrochée au relief et des purges occasionnelles de blocs isolés continuent à se produire au moment des pluies.

Géologiquement, le substrat est constitué par des micaschistes et gneiss qui se rattachent au complexe métamorphique du Nord calédonien (unité du Diahot). Le débit principal schisteux est nettement conforme à la pente et son pendage est pratiquement parallèle à celle-ci. La roche est homogène et l'on ne constate pas, par exemple, la présence de serpentinite qui aurait pu jouer le rôle de niveau de décollement. L'altération est également peu développée et on ne peut pas incriminer un niveau argileux dans le phénomène. Le détachement de la dalle s'est donc fait selon le plan de schistosité général qui, conforme à la pente a facilité le décollement "bancs sur bancs".

Dans une zone avec un relief et des pentes aussi importantes, sans doute les plus fortes de toute la Nouvelle-Calédonie, il est probable qu'on soit en présence d'un des processus d'érosion, en l'occurrence "catastrophique", qui doit se reproduire au cours des millénaires. Mais à l'échelle humaine, la probabilité d'occurrence d'un tel phénomène est exceptionnelle. Les études d'archive dans les pays montagneux européens nous enseignent que cette probabilité d'occurrence est moins négligeable à l'échelle historique, sur des périodes de plusieurs siècles, mais le recul et les archives nous font ici défaut.

9.2.2. Écroulement de la Néra (commune de Bourail)



Fig. 43 – Localisation de l'écroulement de la Néra



Fig. 44 – Écroulement de la Néra

Cet écoulement s'est produit lors du cyclone Anne, en janvier 1988, en rive droite de l'embouchure de la Néra, face à la Baie des Tortues. La route d'accès au belvédère de la Baie des Tortues permet une bonne observation du phénomène. La Néra, dans ce secteur, traverse en cluse une barre de flysch formant une crête continue sur 25 kilomètres de long, entre 300 et 500 mètres d'altitude. L'écroulement s'est produit sur une propriété privée, en l'absence de tout aménagement.

Le pendage général du flysch sur toute la longueur de la crête est orienté vers le NE. Les couches sont donc orientées à contre sens par rapport au talus, ce qui est une configuration favorable par rapport à la stabilité. Une portion de cette crête s'est détachée sur une largeur de 150 mètres, dans une zone de forêt dense où les affleurements sont rares. Un replat est visible au 2/3 supérieur du talus, paquet glissé demeuré accroché dans la pente ou ressaut préexistant ? Le talus situé sous la zone de détachement a une pente moyenne de 50°. La végétation y a été rasée sur toute sa hauteur, encombrée de gros blocs et surtout d'éboulis vifs.

Sur les 25 kilomètres de crête, entre la Nessadiou au SW et les Montagnes Blanches au NE, dans une configuration géologique et morphologique identique (barre de flysch de mêmes lithologie, altitude et pendage), cet écoulement est le seul phénomène d'instabilité connu. Faute d'une visite détaillée de la niche d'arrachement nous n'avons pas d'explication géologique pour ce phénomène. C'est par ailleurs le seul désordre connu dans ce type de terrain, le flysch étant habituellement peu sujet aux instabilités.

9.2.3. Synthèse sur les écoulements

Les écoulements en Nouvelle-Calédonie sont moins fréquents que les glissements. On peut y voir pour cause, le rôle prépondérant joué, dans tous les phénomènes de mouvements de terrain, par l'eau et par l'altération connexe du milieu tropical. Les deux écoulements présentés ici sont de grandes dimensions. Ils ont mobilisé quelques centaines de milliers de m³ de roches, qui se sont détachées de falaises en domaine de très fortes pentes pour parcourir plusieurs centaines de mètres de dénivellation.

La prédictibilité de tels phénomènes est impossible.

10. Les aléas dans les massifs de péridotites

Les mouvements de terrains générés dans les massifs de péridotites sont beaucoup plus importants que ceux du domaine volcano-sédimentaire, en nombre, en dimension, en volume, en énergie et donc en dangerosité. Ce saut quantitatif de l'aléa en domaine de péridotites résulte du relief plus important des massifs de péridotites, de leur plus grande altération, des plus importantes précipitations reçues dans ce milieu montagneux. Avant d'analyser ces différents facteurs nous proposons une description des principaux types reconnus.

10.1. LE CAS PARTICULIER DES LAVAKAS

10.1.1. Les lavakas, problématique

Le terme masculin de **lavaka**, signifiant "fossé" en malgache (exemple en figure 45), adopté dans le vocabulaire international de la géomorphologie, désigne des ravines à bordures escarpées, communes en pays tropical (Madagascar, Brésil), mais aussi dans quelques pays tempérés (USA, Nouvelle-Zélande, Irlande). Ces ravines présentent généralement une forme en cœur ou en goutte d'eau inversée, large à l'amont, pincée à l'aval, où l'exutoire disparaît parfois complètement. Dans le détail, les contours sont complexes et persillés. Il n'y a pas de zone d'alimentation amont. Les lavakas abondent dans les dômes dénudés de latérites en zone de pentes faibles et la présence d'un profil latéritique induré en surface est une condition "sine qua non" de leur existence.



Fig. 45 – Exemple de lavakas à Madagascar (Photographie T. Augé, BRGM)

Le spectacle d'un ensemble de lavakas, toujours impressionnant pour les non spécialistes, suggère souvent qu'on est face à une forme extrême du ravinement et de l'érosion. De nombreux articles de la littérature sont consacrés à des discussions sur l'origine naturelle ou anthropique du phénomène. Les deux types de genèses sont tour à tour invoqués sans que l'on puisse trancher en faveur de l'un ou de l'autre et la conclusion la plus fréquemment admise est que, naturel à l'origine, le phénomène est

parfois aggravé soit par l'intervention humaine (feux, déforestation), soit par les changements climatiques (recul de la végétation).

En Nouvelle-Calédonie, de nombreux lavakas sont visibles dans les zones de latérites épaisses des massifs de péridotites, et la plupart ne sont pas en relation avec des aménagements anthropiques. Leur présence traduit cependant une activité érosive intense et un déséquilibre du milieu naturel où la destruction de la couverture latéritique prend le pas sur la progression de l'altération.

L'équivalent des lavakas en domaine de substrat sédimentaire est qualifié de "bad lands". Dans ce dernier cas il s'agit de zones infertiles, dénudées et soumises au ruissellement et à l'érosion.



Fig. 46 – Exemple de groupement de lavakas sur l'arête est du massif du Mont-Dore. Le front d'érosion s'est propagé de manière régressive, de l'aval vers l'amont, à partir des ravines qui plongent vers la gauche pour ne s'arrêter qu'à la crête du massif vers la droite.

Le phénomène naturel "lavaka" n'est pas un aléa à proprement parler, mais il contribue pour une grande part à la fragilisation de certaines zones :

- par la présence de zones mises à nu intensifiant le ruissellement,
- par la quantité de matériau fin latéritique mobilisable sous forme de boues,
- par son évolution possible vers d'autres types d'aléas, notamment en ravines et glissements.

Il est de même évident que les aménagements pratiqués sans précautions dans un tel contexte ne peuvent qu'accroître la fragilité du milieu et intensifier l'érosion. Pour toutes

ces raisons, il est important de recenser les zones de lavakas dans une étude de risque.

10.1.2. Les lavakas, descriptions

Le lavaka a la morphologie d'un cirque concave à contours finement persillés, sorte d'impluvium ou de réceptacle des eaux de ruissellement. Les bordures sont verticales et surmontent un talus pentu. L'escarpement amont est généralement plus important que l'escarpement latéral. Il n'y a pas de drain ou de zone d'alimentation amont et le bord supérieur de la structure peut remonter jusqu'en crête. A l'aval, le drain principal s'étrangle et forme un véritable cañon étroit et encaissé souvent difficilement accessible et pénétrable, puis l'exutoire disparaît sans nécessairement se raccorder au réseau hydrographique. L'intérieur du lavaka est découpé en un chevelu de ravines étroites et encaissées. Une coupe complète du profil latéritique y est exposée. Le squelette rocheux apparaît parfois au milieu du réceptacle, dégagé sous forme de blocs décortiqués et lavés par les précipitations, qui représentent les noyaux non altérés du saprolite sous-jacent.

Les lavakas sont des unités géomorphologiques concaves étroites qui prennent place au sein de zones altérées matures à la couverture latéritique épaisse, caractérisées par des formes convexes à grand rayon de courbure. La morphologie convexe résulte de l'accumulation in situ des résidus latéritiques et de la prédominance du phénomène d'altération. La naissance puis le développement des lavakas de forme concave dans ce contexte traduit une rupture d'équilibre, le phénomène mécanique d'érosion primant sur le phénomène chimique d'altération.



Fig. 47 – Exemple de lavakas dans la région de Borindi

10.1.3. Les lavakas, fonctionnement

Le **fonctionnement de ces unités géomorphologiques** peut s'expliquer par les propriétés physiques des différents niveaux du profil d'altération.

Rappelons que les profils épais de latérite (supérieur à 2 mètres) se décomposent en un horizon supérieur de terres rouges pisolithiques dont la principale propriété est la porosité et la friabilité, et un horizon inférieur de terres jaunes, de granulométrie plus fine, aux propriétés moins drainantes et au comportement plus plastique. L'observation in situ des zones latéritiques en période de pluies intenses montre que la plus grande partie des précipitations est très rapidement convertie en ruissellement. Ce phénomène est dû, tant à l'absence ou à la faible densité du couvert végétal, qu'à la saturation rapide et à la faible capacité des latérites rouges de surface à stocker l'eau, les latérites jaunes sous-jacentes étant saturées en permanence avec des teneurs en eau de 40 % en moyenne.

En termes hydrogéologiques, la "réserve utile" (RU ou "water capacity") des latérites rouges superficielles est faible et les latérites jaunes inférieures se comportent comme un milieu saturé étanche. En terme mécanique la partie supérieure du profil présente une cohésion moindre et donc une fragilité plus grande que celle de sa partie inférieure. On peut souvent voir la trace de l'impact des gouttes de pluie dans cette partie du profil, les plus gros pisolithes protégeant des colonnes de latérite fine dégagées par l'érosion. L'interface latérite rouge – latérite jaune est donc marquée par un contraste de propriétés hydrogéologiques et mécaniques qui entraîne la destruction et le déblaiement de la croûte superficielle du profil. Une fois cette dernière échancrée, la latérite jaune mise à nu, au comportement imperméable, entretient et intensifie le phénomène de ruissellement et donc d'érosion qui dès lors devient irréversible.

L'explication physique du phénomène ayant été exposée, son évolution temporelle peut se décrire comme suit. En surface, sur la latérite rouge pisolithique, l'alternance des périodes sèches et humides favorise l'apparition de fentes de dessiccation dans ce matériau qui s'assèche plus rapidement que la limonite sous-jacente. Les eaux de pluie et de ruissellement utilisent ce réseau de fentes comme autant de zones de faiblesses où elles s'engouffrent. La mise en charge de ces discontinuités est favorisée par la moins grande perméabilité des limonites sous-jacentes. Ainsi se créent les premières cicatrices dans le couvert latéritique.

Des rigoles sont facilement entaillées, puis des ravines s'ouvrent qui, par érosion régressive, se transforment en cirques aux flancs verticaux contournés, véritables réceptacles pour les eaux de pluie. Le stade "lavaka" est alors atteint. Sur les bordures de la structure, la latérite rouge se découpe en prismes verticaux (on les retrouve souvent sous forme de monolithes isolés au sommet des profils et à la jonction de plusieurs lavakas). Des prismes droits entiers de latérite rouge pisolitique se détachent ainsi des murs des lavakas et s'abattent sur les flancs moins abrupts (45° en moyenne) des terres jaunes, puis atterrissent dans l'entonnoir naturel où ils sont décomposés et enfin collectés avec les autres fines arrachées au profil. Ainsi s'accroît par érosion régressive la surface du lavaka.

Les lavakas sont rarement isolés. Ils se développent au contraire en essaims qui affectent des versants latéritiques entiers, et donnent par coalescence des dédales de zones ravinées, de profils latéritiques et de squelette rocheux mis à nu. L'érosion

régressive qui règle leurs progressions n'a de cesse que lorsque les matériaux latéritiques dont elles se nourrissent ont été totalement consommés. Ils peuvent remonter jusqu'aux lignes de crête, ce qui montre bien qu'il s'agit d'un phénomène contrôlé par la pluie et le ruissellement et non par un écoulement concentré dans un drain.

Une étude statistique faite sur le massif du Mont-Dore (Maurizot, 2001), montre que sur un total de 34 formes individuelles recensées, la pente moyenne varie de 11° à 32° pour une moyenne de 22°.

L'étude rétrospective au moyen des photographies aériennes ne permet pas de déceler une évolution des zones d'emprise et de la morphologie des lavakas, la résolution de cette méthode d'observation étant insuffisante. Il serait nécessaire de procéder à des levés topographiques à une échelle appropriée ($< 1 / 1000$), d'instrumenter sur le terrain des unités morphologiques typiques et représentatives et d'en faire un suivi sur plusieurs années pour pouvoir faire un bilan sur les taux d'érosion et de progression. On aurait alors à disposition des données quantifiées sur le fonctionnement en régime normal et dans le milieu naturel des lavakas que l'on pourrait alors utilement comparer à des fonctionnements en milieu anthropisé (aménagement, feux de brousse).

10.2. LES GLISSEMENTS ROTATIONNELS ET TRANSLATIONNELS DANS LES MASSIFS DE PERIDOTITES

10.2.1. Glissement du creek Bel-Air (commune de Thio)

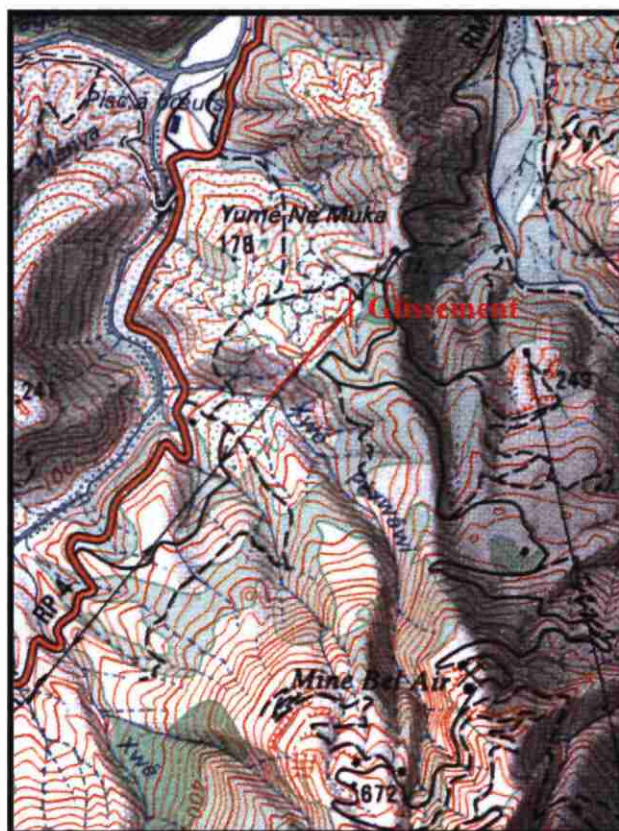


Fig. 48 – Localisation du glissement du creek Bel-Air

Situation

Le glissement du creek Bel-Air (creek Xwé Pexwâwi sur la carte DI3T, 1 / 50 000) est localisé en rive droite de la Kuenthio, à une centaine de mètres au-dessus de la RP4, dans un petit bassin versant qui draine le secteur de la mine Bel-Air. Le glissement a été mentionné par Perinet (1989), puis décrit par Laganier (1993) qui signale que des cicatrices pré-existantes se sont largement ouvertes à la suite du cyclone Anne (12 janvier 1988). Dans l'état actuel le glissement de terrain se développe sur les deux rives du creek et sur près d'un kilomètre de distance. Les désordres actuellement induits sont mineurs et consistent en charriage de blocs par le torrent jusqu'au niveau de la RP4, qui est la seule infrastructure directement exposée. Toutefois, le volume affecté par les mouvements étant très important, il convient de bien évaluer les potentiels de dommage.

La partie la plus amont du bassin versant est constituée par les zones dénudées de la mine Bel-Air et des quantités notables de décharges minières sauvages en recouvrent les versants.

Description des désordres

Le glissement a lieu dans la semelle serpentineuse située à la base du massif de péridotites, dans une zone où celle-ci s'épaissit. Une série de sources est visible à ce niveau dans le lit du creek, en particulier en rive droite, à la base de la zone de glissement la plus importante. Le matériau serpentineux est friable, sans cohésion, instable. Il est parcouru par un ensemble de plans de clivages sinueux. Ce matériau fragile, sujet au fluage, presque ductile, est recouvert en surface par une accumulation de blocs de péridotites et de latérites remaniées dans la pente, supportant un profil d'altération. Les matériaux serpentineux dominent à l'aval. Vers l'amont, on passe progressivement à une zone de péridotites rocheuses plus cohérentes, la vallée devenant plus encaissée et les versants plus pentus. Alors qu'à l'aval, les glissements rotationnels dominent (figure 49), à l'amont les glissements translationnels, les écroulements et des paquets glissés prévalent.



Fig. 49 – Glissement du creek Bel-Air vu d'hélicoptère (photographie B. Pelletier, SLN)

A l'aval, la masse glissée se décompose en plusieurs gradins qui s'échelonnent de part et d'autre du creek. Les niches d'arrachement sont pour la plupart de forme semi-circulaire (figure 49), s'emboîtant les unes dans les autres. Les mouvements rotationnels des différentes loupes de glissement sont attestés par des contre-pentes et la présence d'arbres inclinés vers l'amont. Les fronts des différentes masses glissées se dégradent en petits gradins et présentent des coulées de matériaux boueux ou rocheux limitées. Ces produits de désagrégation sont évacués par les crues et remaniés dans toute la partie aval du creek jusqu'à sa confluence avec la Kuenthio.

L'ensemble glissé se développe sur près d'un kilomètre. Sa largeur maximale de part et d'autre du creek est de 400 mètres. Les décalages verticaux de certains gradins

peuvent atteindre 10 mètres de hauteur. La masse glissée a été évaluée à un million de m³ par F. Perinet (1989). Son point le plus bas est situé à 800 mètres de distance et à 120 mètres d'altitude au-dessus de la RP4.

Ce type d'instabilité, dans un contexte de serpentine à la base des massifs de péridotites, est d'origine naturelle. Il peut se produire hors de toute infrastructure anthropique. La loupe de glissement la plus ancienne est déjà visible sur les photographies aériennes de 1955. Son évolution peut en revanche être accélérée par des aménagements humains mal gérés.

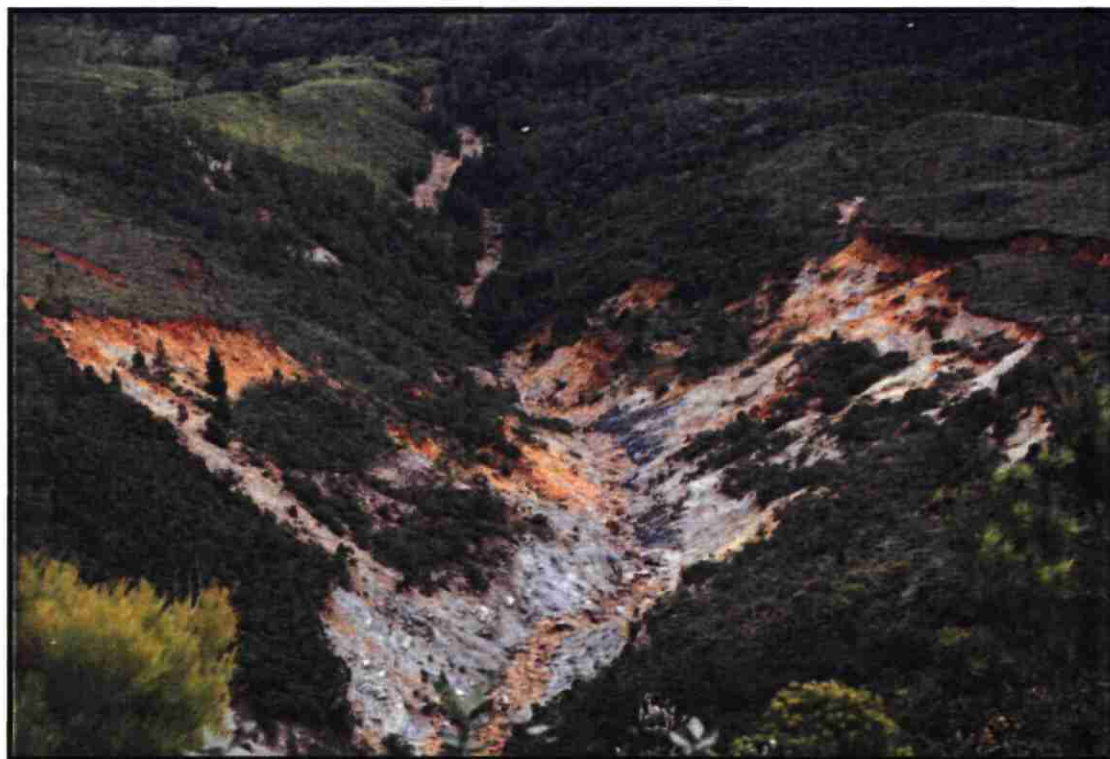


Fig. 50 – Photographie du glissement du creek Bel-Air, vue depuis l'amont

Analyse rétrospective par photographies aériennes

L'étude rétrospective par photographie aérienne apporte quelques précisions quant à l'évolution des différents pans glissés.

1942 : non disponible.

1955 : une loupe de glissement semi-circulaire est déjà visible en rive droite dans la zone serpentineuse. Au droit de celle-ci, le creek présente des signes de charriage. Les zones décapées de la mine Bel-Air sont déjà présentes.

1971 : Les zones de glissement se multiplient et remontent vers l'amont. La loupe précédente est recoupée par des fissures et des niches d'arrachement.

1976 : Les traces de fissures progressent vers l'amont et en rive droite.

1985 : A ce stade, la morphologie des différentes niches d'arrachement et zones d'affaissement est acquise. Elle est peu différente de ce que l'on peut observer aujourd'hui.

En conclusion, l'essentiel des mouvements s'est progressivement développé avant 1985. Les constats de désordres invoqués à la suite du cyclone Anne de 1988 (Laganier, 1994) relèvent sans doute plus de la redécouverte du phénomène que de sa brusque aggravation. Il n'en demeure pas moins que les mouvements au sein de la masse complexe glissée doivent perdurer et subir des accélérations à chaque épisode pluvieux.

Dangerosité

Quels sont les risques encourus dans ce type de contexte et quels sont les moyens de s'en prémunir ?

La superficie du bassin versant du creek Bel-Air est estimée à 1,4 km². Sa partie la plus amont comporte les anciennes zones décapées de la mine Bel-Air et des décharges sauvages dans les versants. La route d'accès au Camp des Sapins traverse cette zone dans laquelle des aménagements ont été pratiqués pour minimiser les dégâts dus au ruissellement. Actuellement le torrent ne montre pas d'engravement ni de phénomène de charriage important. Le phénomène de glissement décrit plus haut, même s'il est imposant, ne présente pas en lui-même un danger important. Il ne supporte pas d'infrastructure vitale et se trouve à bonne distance de la RP4. En outre la lenteur d'évolution (de l'ordre de quelques cm à dm par an en période normale) de ce type de mouvements de terrain permet de prévenir les dangers éventuels.

Par ailleurs, il n'y a pas de solution confortative pour ce type d'instabilité de grande ampleur. F. Perinet soulignait déjà en 1989 que "les moyens physiques de stabiliser des mouvements de terrain d'une telle ampleur n'existent pas". Ceci est d'autant plus vrai que le glissement est localisé au sein même d'un talweg qui alimente lui-même sa partie basale en eau et qui sape son front, favorisant sa réactivation de manière incessante. L'aléa qui est le plus à redouter dans un tel contexte est un phénomène d'embâcle. Dans un tel scénario, lors de précipitations importantes, la vitesse d'évolution du phénomène se trouverait grandement accélérée, passant de quelques cm/an à quelques cm/jour. Un compartiment glissé pourrait venir obstruer le cours du creek, provoquant une retenue et une accumulation d'eau et de matériaux à l'arrière. Ces matériaux pourraient être empruntés aux anciennes décharges minières situées à l'amont du bassin versant ou plus simplement à toutes les zones instables présentes, naturelles ou artificielles du bassin versant et comporteraient une grande quantité de fines issues du ruissellement dans les zones latéritiques. La rupture de ce barrage temporaire pourrait libérer alors sous forme de lave torrentielle une énergie potentielle considérable et destructrice. Il est probable que dans une telle éventualité, l'ouvrage de franchissement au niveau de la RP4 serait ruiné.

Le glissement en lui-même n'étant pas maîtrisable, il est recommandé pour minimiser l'apport de matériaux en provenance de la partie amont du bassin versant, voire éviter des accusations mal fondées envers les zones d'exploitations minières, de maintenir, surveiller et renforcer les dispositifs de gestion des eaux pluviales au niveau de la mine Bel-Air et au passage de la piste du Camp des Sapins.

Conclusions

Le glissement de terrain du creek Bel-Air est volumétriquement l'un des plus importants que l'on connaisse. Le peu de cohésion du matériau serpentiniteux allié à l'émergence de sources dans ces zones basales serpentineuses et étanches de la nappe des péridotites, entraînent souvent ce type d'instabilité. Ces glissements sont rotationnels dans les serpentines altérées, ductiles et translationnels dans les péridotites serpentinisées.

10.2.2. Glissements du col du Camp des sapins

Une série de glissements de terrain est visible de part et d'autre du col du Camp des Sapins, au niveau des installations (ateliers) de la SLN.



Fig. 51 – Localisation des glissements du col du Camp-des-Sapins

Description des désordres

Le Camp des Sapins est situé à un col où convergent la Nakalé et la Koua, affluents de la Thio, et le haut cours de la Ouenghi. Ce col correspond à une remontée et à un épaississement de la semelle serpentineuse de la base de la nappe des péridotites. A l'altitude du col (770 m) et dans tout le secteur se développe un ensemble latéritique important avec notamment des étendues de blocs de cuirasses agglomérés. Tous les désordres sont localisés dans et au-dessus de la formation serpentineuse.

Les deux principaux glissements se développent sur le flanc SW du col, en tête de la vallée de la Koua. Ils se signalent par toute une hiérarchie emboîtée de cicatrices semi-circulaires correspondant à des niches d'arrachement plus ou moins récentes et délimitant des zones affaissées en gradins. Cet ensemble sensible à l'érosion est en outre parcouru par un réseau de ravines actives sur les flancs desquelles des instabilités secondaires (éboulements, coulées de matériaux divers) prennent place.



Fig. 52 – Glissement de terrain du col du Camp des Sapins

L'unité glissée la plus importante est localisée sur le flanc sud, en rive gauche de la Koua. Elle s'inscrit dans une forme circulaire de 500 mètres de rayon soulignée par un affaissement d'une dizaine de mètres de dénivellation. C'est typiquement un glissement de type rotationnel.

Une zone de glissement beaucoup plus spectaculaire est située à un kilomètre au NW des ateliers, entre deux niveaux de la piste principale d'accès, entre les cotes 960 et 800 mètres (figure 48). A la différence du précédent, ce glissement de terrain intéresse une zone de péridotite altérée et très fissurée et non pas un matériau serpentiniteux. Il s'agit dans ce cas d'un glissement de type translationnel. La zone affaissée qui mesure 200 mètres de large et autant en hauteur est délimitée à l'amont par une niche d'arrachement qui laisse affleurer un profil d'altération latéritique se superposant à un amas sans cohérence, de blocs de péridotite. En contrebas, le paquet effondré présente une morphologie convexe. Sur sa bordure ouest, la zone glissée s'appuie sur un éperon plus résistant au niveau duquel s'est ouvert un arrachement et qui a généré une coulée de débris rocheux.

Étude rétrospective par photographies aériennes

L'examen des photographies aériennes de ce secteur montre que dès 1942, les principales zones d'instabilités étaient existantes, en l'absence de tout aménagement humain. Les installations actuelles, plates-formes, zones d'extractions et pistes ne sont

donc pas en cause dans le déclenchement des phénomènes. On ne constate pas non plus d'aggravation des mouvements résultant de travaux et pas d'évolution significative des zones de désordres, du moins perceptibles sur les documents photographiques aériens postérieurs.

Conclusions

Si ces désordres n'ont pas évolué depuis 1942, cela ne signifie pas qu'ils ne puissent pas être réactivés, soit à l'occasion d'importantes précipitations accompagnant un cyclone, soit par l'ouverture inconsidérée de travaux dans les zones les plus fragiles. Les risques encourus dans ce secteur concernent des atteintes aux infrastructures minières existantes (pistes principalement) et à la rivière Koua. La piste d'accès au Camp des Sapins est directement menacée par le glissement 2, situé entre les cotes 960 et 800 mètres, aussi bien à l'amont par recul de la niche d'arrachement, qu'à l'aval par des coulées de matériaux. L'ampleur de la masse glissée au regard de la modicité des enjeux exposés exclut cependant d'envisager de quelconques travaux de confortement sur la zone instable. Cela étant, il est élémentaire de recommander une surveillance du site et d'éviter tout aménagement qui serait de nature à modifier l'équilibre actuel, en particulier par une gestion des eaux de ruissellement adaptée et en évitant de toucher au pied de la zone instable.

Les mêmes précautions s'appliquent au glissement 1, situé sur le flanc sud, en rive gauche de la Koua. Il n'y a pas de solution confortative pour un glissement d'une telle taille. Les seules actions de défense contre un tel phénomène consistent à en éviter une réactivation par une bonne gestion des écoulements des eaux pluviales.

10.2.3. Glissement translationnel face au col de Plum (commune du Mont-Dore)

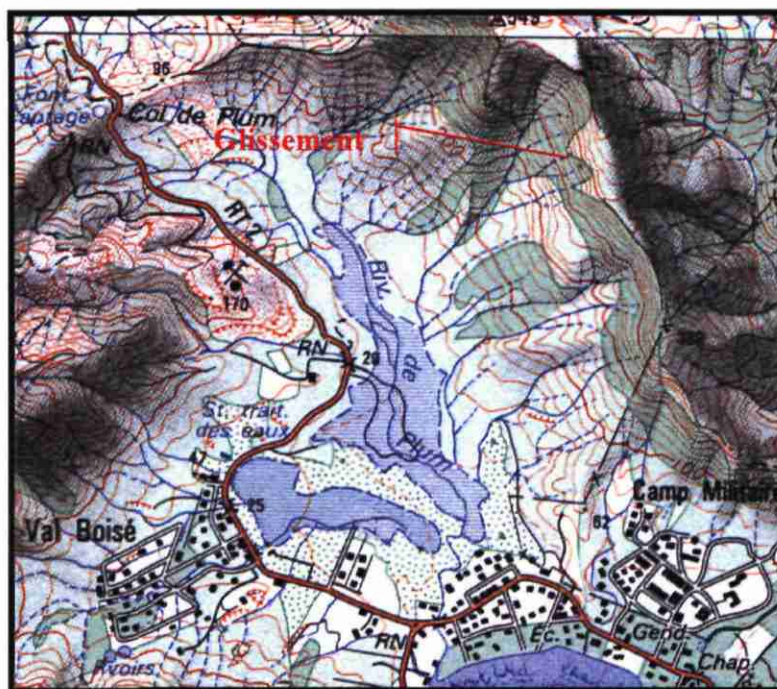


Fig. 53 – Localisation du glissement face au col de Plum



Fig. 54 – Vue du glissement depuis le col de Plum

Sur le flanc à regard ouest qui fait face au col de Plum, dominant la rivière de Plum, se trouve une unité de péridotite disloquée de 300 mètres de long pour 200 mètres de large, formant un replat intermédiaire dans une zone de pente soutenue. Elle est entourée par tout un cortège d'instabilités secondaires. Son front aval est couvert de petites zones d'arrachements, tapissé d'éboulis récents et de zones d'écroulements. Le raccord vers l'amont se fait par quelques grandes marches d'escalier. La structure est entourée par une série de coulées de latérites et de blocs. Des arrachements et des coulées de débris divers très récents sont visibles dans tout cet environnement.

Cet ensemble hautement instable représente en fait un important panneau de péridotites décroché des flancs abrupts des massifs miniers, ayant glissé en masse pour venir se stabiliser de manière précaire en contrebas de sa zone d'origine. Il s'agit donc d'un glissement en masse à caractère translationnel. Le matériau qui constitue la loupe glissée a gardé une certaine unité, mais sa structure intime est complètement disloquée, chaotique, très faiblement cohésive.

La destruction de la végétation par des feux répétés a été particulièrement importante dans la région. Cet état de fait vient aggraver une situation déjà critique. Le pied de ce relief n'est pas urbanisé et il est évident que cet environnement dangereux condamne à jamais l'occupation du secteur situé à l'aval.

10.2.4. Glissement de la Kalouéhola (Tontouta)



Fig. 55 – Localisation du glissement de la Kalouéhola

Ce glissement se trouve en rive gauche de la Kalouéhola, affluent de la Tontouta, face à la mine Vulcain. C'est un des plus importants de Nouvelle-Calédonie, bien qu'il soit peu connu, car localisé dans une zone totalement inhabitée. Les dimensions sont impressionnantes.

La niche d'arrachement semi-circulaire, marquée par des crevasses à l'amont peut se suivre sur 500 mètres de long. Dans la morphologie, le ressaut qu'elle induit s'étend sur près d'un kilomètre de long. Cette ligne de rupture et d'escarpement est soit recouverte par la végétation soit mise à nu et soulignée par des éboulis. On peut estimer que le décrochement dans sa plus grande amplitude peut atteindre un maximum de 100 mètres de dénivellation. Vers l'aval le versant se raccorde à un épaulement peu penté, couvert de latérite. La partie supérieure du glissement est à 300 mètres d'altitude. Son bourrelet frontal, entaillé et déblayé par la rivière est à 70 mètres d'altitude. La dénivellation maximum est donc de 230 mètres.

Le matériau constitutif est une péridotite très serpentinisée. L'ensemble du glissement est sillonné par des ravines profondes qui s'enfoncent dans ce matériau tendre. Cette zone serpentinisée peut se suivre sur plusieurs kilomètres selon une direction NW-SE, mais il n'y a que cette zone de glissement qui lui soit associée. Le paysage de cette zone est constellé de petits arrachements de quelques mètres d'extension, ouverts dans le maquis minier et sa couverture d'éboulis de péridotites serpentinisées. Ces nombreuses entailles témoignent de la fragilité lithologique du secteur et de sa sensibilité à l'érosion. Il est fort probable que la rivière Kalouéhola déblaye et sape régulièrement le pied du glissement, entretenant ainsi le lent affaissement du versant.

Il n'y a pas de travaux miniers dans la zone amont du glissement. Le seul aménagement anthropique visible est constitué par un ancien sentier. L'observation des photographies aériennes de 1942, montre que ce glissement était déjà présent à

cette époque, sous une morphologie peut différente. On retrouve en particulier toutes les ravines visibles actuellement. Le sentier n'existait pas à cette époque.

En l'absence de d'aménagements humains, ce très important aléas n'induit aucun risque. L'infrastructure la plus proche, située à l'aval, est la piste de roulage de la mine Vulcain. Il est tout à fait possible qu'il puisse être réactivé lors de précipitations exceptionnelles, soit par alimentation en eau des fissures amonts, soit par sapement de son pied lors d'une crue. Un scénario catastrophique, mais qui ne doit pas être écarté, serait la mise en mouvement d'une quantité suffisante de matériaux qui viendraient obstrués le cours de la Kalouéhola sur une certaine hauteur. Il pourrait s'en suivre un phénomène d'embâcle lors de la rupture de ce barrage naturel et la propagation vers l'aval d'une onde crue. Dans cette hypothèse les pistes existantes et les franchissements dans la basse vallée seraient très probablement réduits.

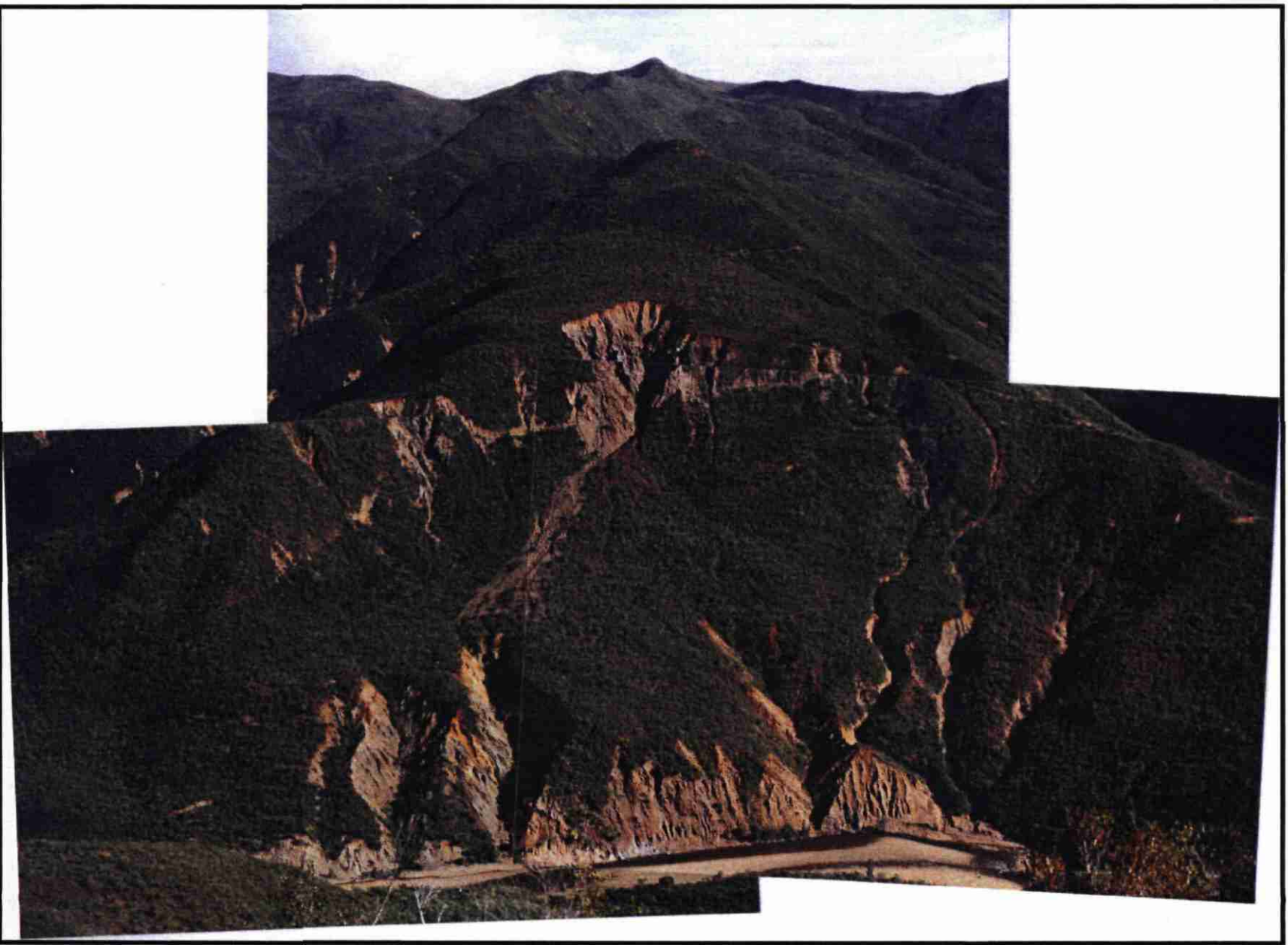


Fig. 56 – Glissement de la Kaléouéhola (Tontouta) – vue de la mine Vulcain

10.2.5. Glissements rotationnels et translationnels au pied du massif du Kopéto

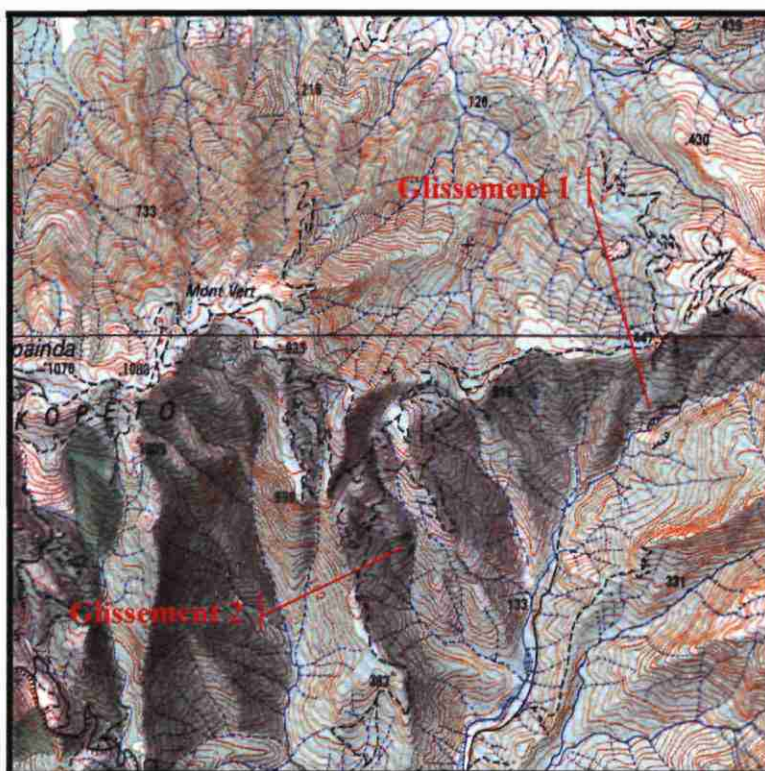


Fig. 57 – Localisation des glissements au pied du massif du Kopéto

Localisation

A l'Est du massif du Kopéto, de part et d'autre du col de Boutana, se trouve une zone de serpentinites particulièrement développée. Ce col est en fait une zone de convergence d'importantes dislocations tectoniques dans un niveau proche de la semelle de la nappe des péridotites. Des grandes étendues de serpentinites et de péridotites serpentinisées, très fracturées, témoignent de cet environnement. Corollaire de cette intense fracturation, la zone est en retour profondément latéritisée. Des profils de terres épaisses chapeautés par des étendues de grenaille partiellement soudée et des agglomérats de blocs de cuirasse y sont partout visibles. De nombreuses manifestations d'instabilité y sont présentes. Plusieurs mouvements de terrains remarquables sont associés à cette lithologie spécifique. Au Nord du col de Boutana, de nombreux arrachements et ravines sont visibles le long des creeks Boutana et Mont-Vert. Ces cours d'eau sont encombrés de grandes quantités d'alluvions grossières et sont le siège de charriages torrentiels (Maurizot *et al.*, 1998). Sur le flanc sud du col de Boutana deux glissements spectaculaires sont visibles.

Description des désordres

Le glissement situé le plus au Nord (glissement 1) se développe de part et d'autre du cours supérieur de l'Oua Péoué. En rive droite on relève un panneau glissé de 500 mètres de large pour 500 mètres de longueur (figure 58). En rive gauche une zone d'affaissement moins importante est également visible. En rive droite, la zone de

rupture amont remonte jusqu'au col de Boutana. Elle affecte la forme d'un triangle, pointé vers le Nord. Cet escarpement amont a une amplitude d'une cinquantaine de mètres. Le volume total déplacé peut être estimé entre 3 et 8 millions de m³. L'Oué Péoué se fraye un chemin dans cet ensemble affaissé en ouvrant une zone ravinée aux berges escarpées couvertes d'éboulements.

Le glissement situé le plus au Sud (glissement 2) est de taille plus modeste. Il correspond à un affaissement de forme remarquablement semi-circulaire, délimité par un escarpement amont souligné d'éboulis vifs. Le diamètre de cette unité est de 300 mètres environ.



Fig. 58 – Glissement 1 (translationnel) en rive droite du creek Péoué (photographie B. Pelletier, SLN, octobre 2000)

Contexte géologique

Les instabilités de ce secteur trouvent leur origine dans le matériau très fracturé, serpentineux et profondément altéré qui le constitue. De nombreuses sources suintent dans ces roches de faible cohésion, comme cela est classique au niveau des accidents et dans la semelle serpentineuse qui souligne la nappe des péridotites. Cette présence d'eau et les variations de pression interne favorisent le fonctionnement des plans de rupture qui sont à l'origine des mouvements de terrain. Cet abondant matériau meuble est déblayé et entraîné dans le réseau de drainage. Le charriage torrentiel et l'engravement des creeks se manifestent aussi bien au Nord (creek Boutana) qu'au Sud (Oué Péoué) du col de Boutana.

Nature des glissements

Le glissement 1 est de type translationnel. Le flanc entier de la rive droite et une partie du flanc de la rive gauche glissent vers l'axe du creek. Le glissement 2 est rotationnel, caractéristique attestée par la forme semi-circulaire de sa zone de détachement.

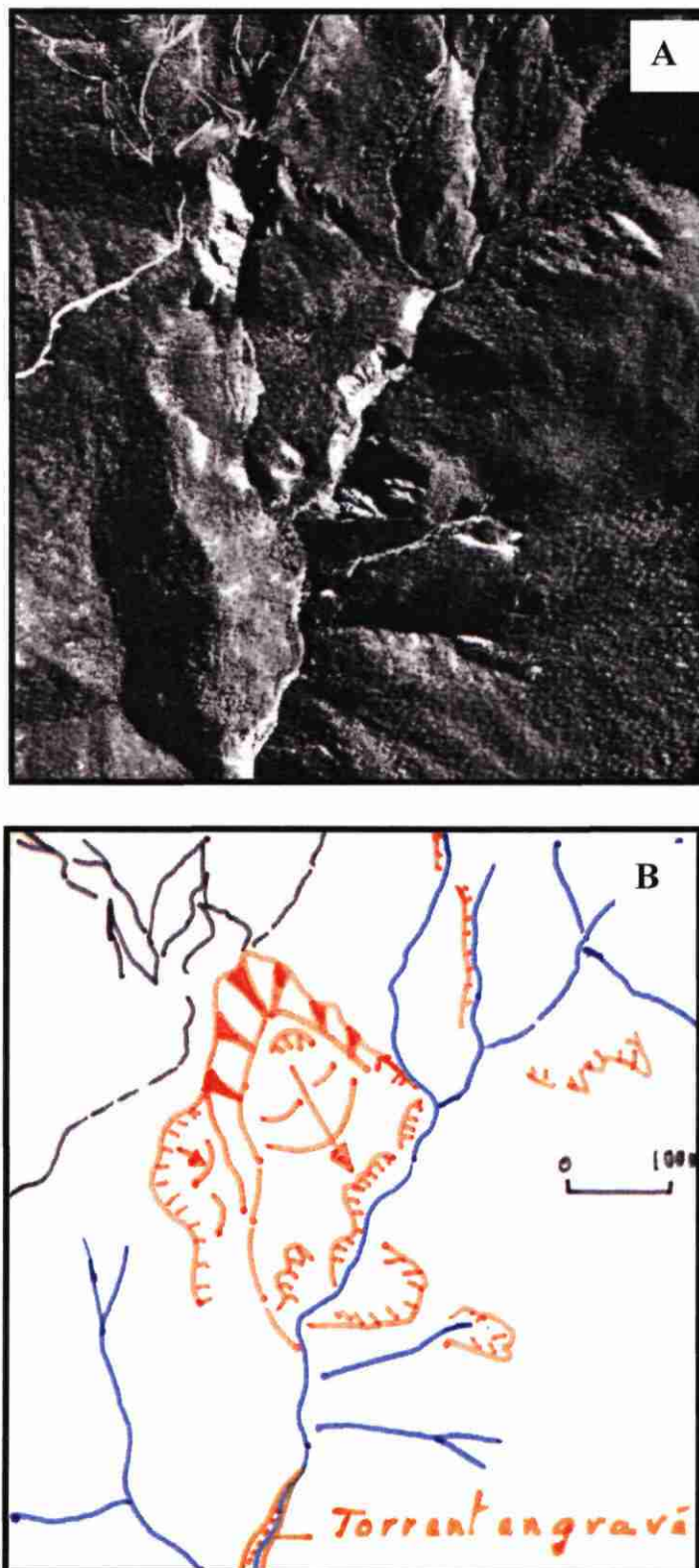


Fig. 59 – Glissement 1 (translationnel) en rive droite de l'Oué Péoué
A : Photographie aérienne verticale de 1976
B : Interprétation géomorphologique

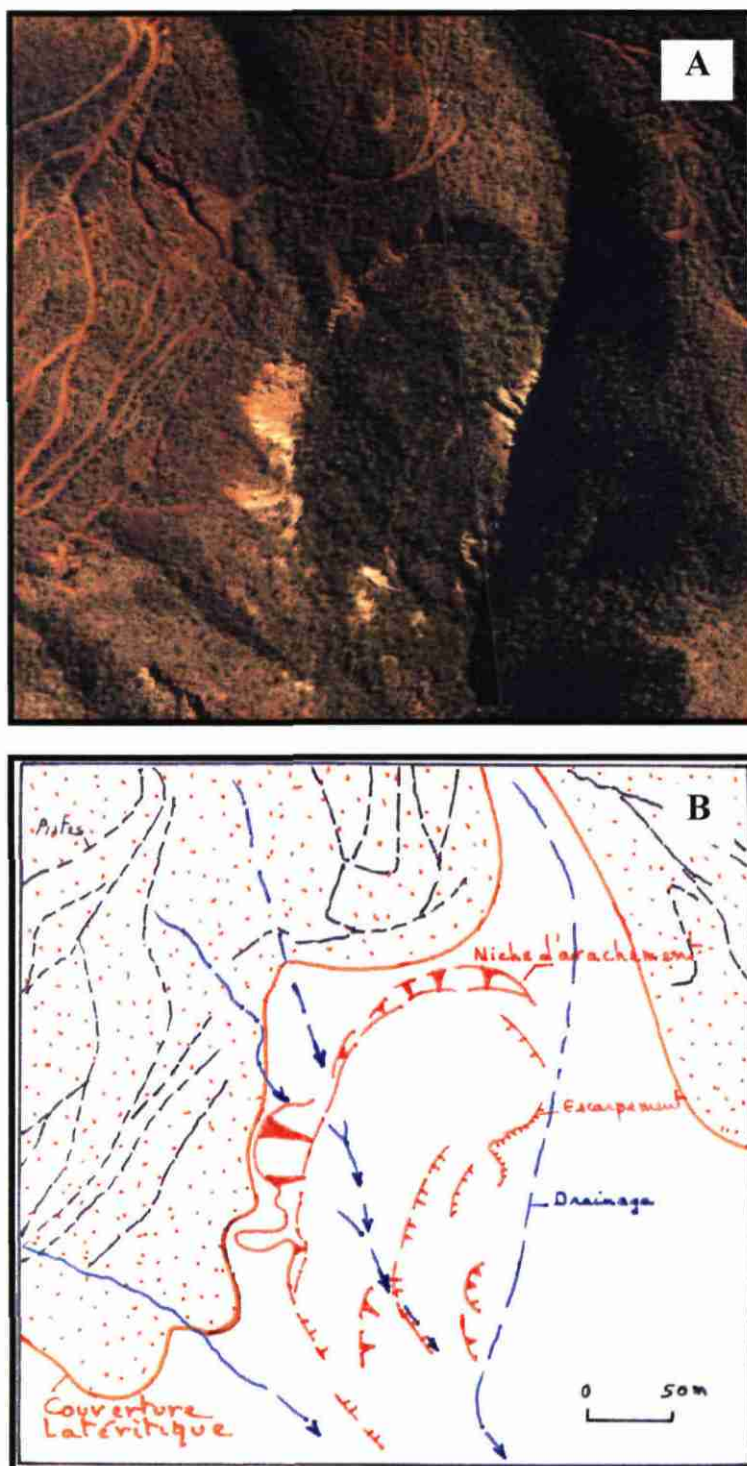


Fig. 60 – Glissement 2 (rotationnel) en rive droite de l'Oué Pécoué

A : Photographie aérienne SLN-GéoEx, 1991

B : Interprétation géomorphologique

Dangerosité

Ces deux glissements se situent dans un bassin versant totalement inhabité. Il n'y a donc pas de risques pour les personnes. Ces deux zones sont également éloignées des exploitations minières actuelles. Elles n'ont fait l'objet que de quelques prospections par le passé. Il est recommandé de ne pas implanter de travaux miniers à proximité de ces désordres, de même qu'au voisinage de toute la zone serpentineuse du col de Boutana. Ces travaux pourraient en effet entraîner de nouveaux glissements ou accélérer les mouvements dans les désordres actuels, aboutissant à des situations non maîtrisables, les volumes concernés étant hors de proportion avec de quelconques solutions de confortement.

Comme dans tout ce secteur, les nombreux arrachements ouverts dans les zones de désordres alimentent régulièrement en alluvions les creeks qui sont pour la plupart engravés et sièges de charriages torrentiels. Sur le flanc nord du col de Boutana, les phénomènes récurrents de charriages torrentiels, notamment sur le creek Boutana, ont provoqués des dommages aux propriétés situées en aval (maison inondée, pistes coupées).

10.2.6. Glissement du Piton de Pandop (massif du Kaala)

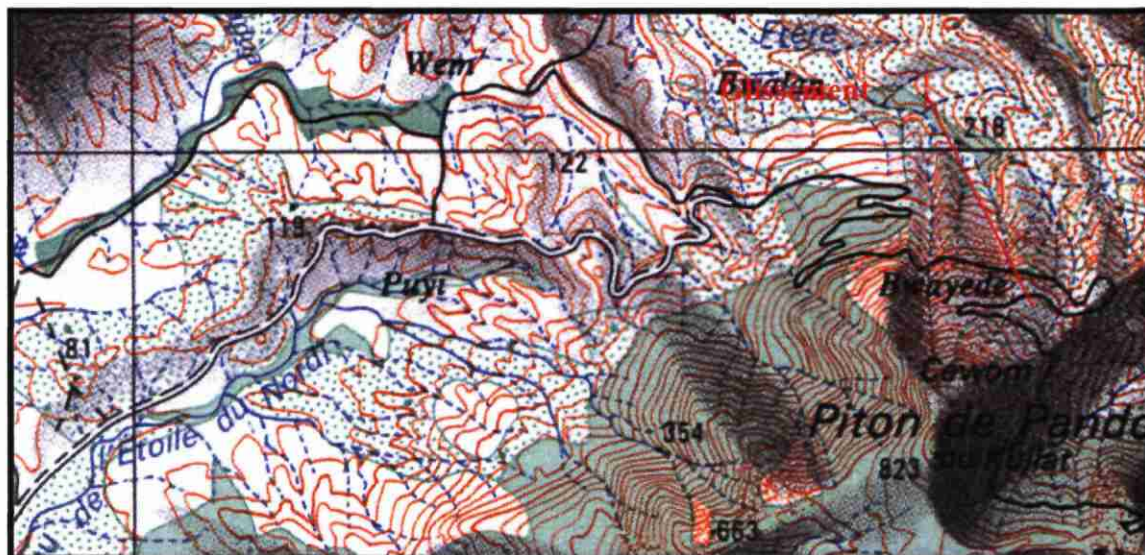


Fig. 61 – Localisation du glissement du Piton de Pandop

Localisation

Ce glissement se situe sur le flanc NW du massif du Kaala. Il est traversé par la piste d'accès et de roulage de la mine Étoile du Nord. Il offre des conditions exceptionnelles d'observation et de fraîcheur.

Description des désordres

Un panneau de terrain est nettement détaché du versant. Vers le haut et sur ses bordures, la zone de détachement est marquée par un plan à vif couvert d'éboulements. Vers le bas se succèdent toute une série de plaquages d'éboulis et de formations de pentes mal consolidées, entaillées par de nombreuses ravines. Dans sa plus grande largeur, le glissement mesure 400 mètres. Il se développe sur 200 mètres de dénivellation. On peut estimer le volume situé au-dessus de la piste de roulage (au-dessus de la dernière épingle) à environ 800 000 m³. Il n'y a pas de fissures visibles sur la piste, les seuls désordres connus se résument à quelques éboulements occasionnels.

Nature du glissement

C'est un glissement translationnel. La fraîcheur de la zone de détachement laisse supposer que sa dernière mise en mouvement est relativement récente. Toutefois cette cicatrice est déjà visible sur les photographies aériennes de 1942.

Géologie

Le cœur du panneau détaché, affleurant dans les talus de la piste, est rocheux, massif à fracturé. Sur toute la périphérie cependant et vers le bas, on relève un amoncellement chaotique de blocs hétérométriques. Il n'y a pratiquement pas de latérite dans le matériau affecté. Le contact de base de la zone glissée est visible (figure 62) vers l'altitude 400 m, dans le talus de la piste. Cette possibilité d'observation est suffisamment rare pour être signalée. Sur les schistes crétacés, la base du

glissement y est marquée par une cataclasite serpentineuse. Nous n'avons pas trouvé de sources ou de témoins de venue d'eau dans les zones accessibles.

Dangerosité

Il n'y a apparemment pas de mouvements actuels dans le panneau glissé qui semble stabilisé. L'ouverture de la piste et le roulage minier n'ont pas, semble-t-il, induit de désordres. Les seuls troubles connus concernent des éboulements superficiels et il n'y a pas de signe de mouvements en masse. Le trafic sur la piste, interrompu lors des précipitations, minimise le risque.

Conclusion

A l'échelle de temps géologique, on ne peut exclure une remise en mouvement de la masse instable. Il est recommandé de veiller au drainage le long de la piste et d'éviter en particulier de drainer les eaux pluviales (ouverture d'un décanteur par exemple) au droit de la zone de détachement.



Fig. 62 – Vue générale du glissement du Piton de Pandop et de la piste d'accès à la mine "Étoile du Nord"

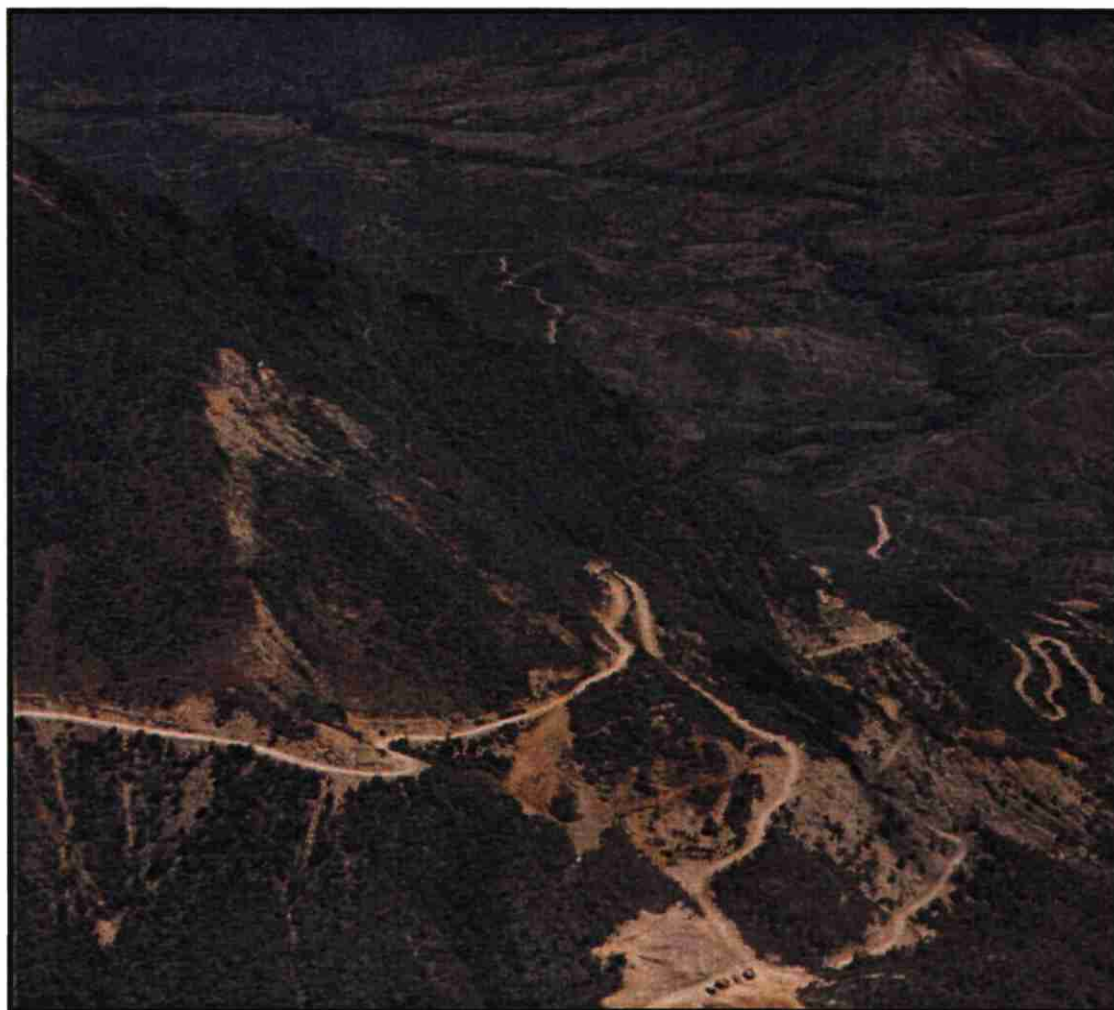


Fig. 63 – Vue du glissement du Piton de Pandop depuis l'Est



Fig. 64 – Glissement du Piton de Pandop : Détail du contact de base en bordure de la piste

10.2.7. Conclusion sur les glissements dans les massifs de péridotites

Les glissements que nous venons de décrire (au nombre de 7) présentent de grandes ressemblances, dans leurs dimensions, en général très importantes, dans leurs contextes géologiques et dans leurs mécanismes.

Les dimensions sont généralement hectométriques à pluri-hectométriques. Les masses instables atteignent (lorsqu'il est possible d'en faire un calcul approché) couramment le million de m³.

Ces glissements se forment généralement dans un contexte serpentineux, qu'il s'agisse de la base de la semelle de charriage (6 cas sur 7) ou qu'il s'agisse d'accidents internes (Kalouéhola) à la nappe des péridotites. On peut distinguer un pôle en domaine serpentineux dominant, à caractère rotationnel très net (Creek Bel Air) et un pôle en domaine péridotitique dominant, à caractère translationnel (Plum, Piton de Pandop). On peut observer le passage du type rotationnel au type translationnel dans un même site (Creek Bel Air) parallèlement au changement lithologique serpentinite – péridotites. Les glissements qui prennent naissance à proximité de la semelle serpentineuse sont vraisemblablement favorisés par l'action de l'eau et la présence fréquente de sources dans ce contexte.

La taille même de ces unités glissées devrait être dissuasive de tout aménagement. Ce sont des objets non maîtrisables en terme de confortement.

10.3. LES RAVINES A EROSION REGRESSIVE

Les ravines sont omniprésentes et ubiquistes dans le paysage des massifs de péridotites. Tout à la fois, zones de départ et de transport de matériaux, elles s'installent dès lors qu'une certaine quantité de produits de démantèlement doit transiter jusqu'au niveau de base sous l'influence d'un flux d'eau. Installées sur un substrat essentiellement rocheux elles se signalent simplement comme un trait sans végétation dans le paysage, sali par les boues latéritiques et plus ou moins encombré d'éléments détritiques. Traversant une zone en partie altérée, latéritique, le sapement des berges viendra grossir le flux détritique. Enfin, s'attaquant à des zones fragiles très saprolitiques ou serpentineuses le phénomène peut évoluer vers un ravinement régressif s'accompagnant de désordres importants sur ses bordures.

Les ravines à érosion régressive (terme inusité dans le vocabulaire des mouvements de terrain) constituent un type de phénomènes très particuliers et propres aux massifs de péridotites de Nouvelle-Calédonie. Nous proposons la description de quelques exemples précis avant d'en faire la synthèse.

10.3.1. Les ravines du creek Jeanne et Marie (commune de Thio)

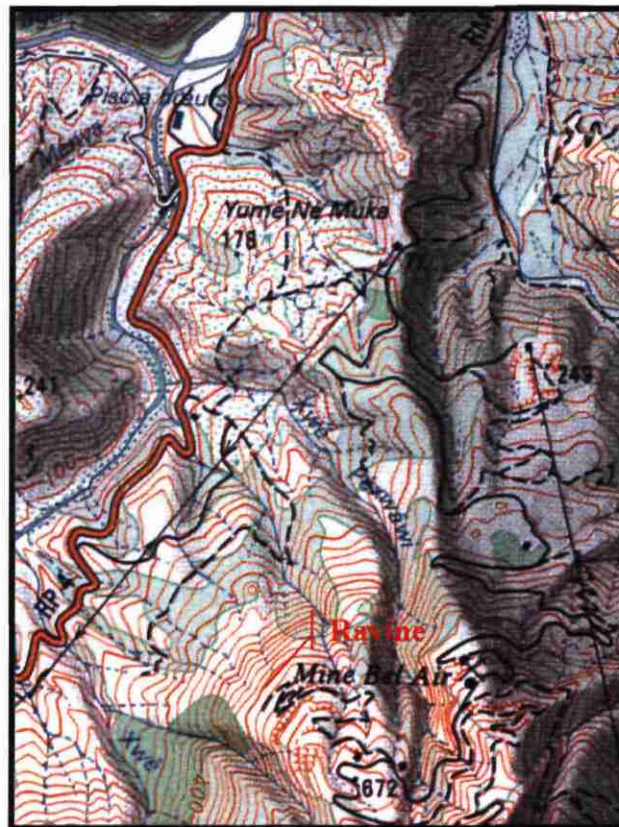


Fig. 65 – Localisation des ravines du creek Jeanne et Marie

Le creek Jeanne et Marie et le creek Vincent drainent la bordure NW du massif du Sud, dans les zones des anciennes exploitations de la mine Bel-Air. Tous deux correspondent à de petits bassins versants (superficies inférieures à 3 km²). Il s'agit en fait de torrents très pentus, au fonctionnement intermittent, comme il en existe beaucoup sur toute la rive droite de la vallée de la Thio. Les désordres récurrents dont ils ont été le siège ont souvent attiré l'attention. La RP4 (Bouloupari - Thio) qui franchit ces creeks, a été plus d'une fois coupée lors de crues. Dans les années 80, on comptait cinq à six coupures de la route par an (Meunier, 1990). Lors du passage du cyclone Anne (1988, 518 mm en 24 heures à Thio), le volume de sédiments qu'il a été nécessaire de dégager, a été de 30 000 m³. Le volume transporté calculé par Meunier (1990) est de 50 000 m³. Les études entreprises ont été jusqu'à envisager un nouveau tracé pour la RP4, en rive gauche de la Kuenthio (Meunier, 1990).

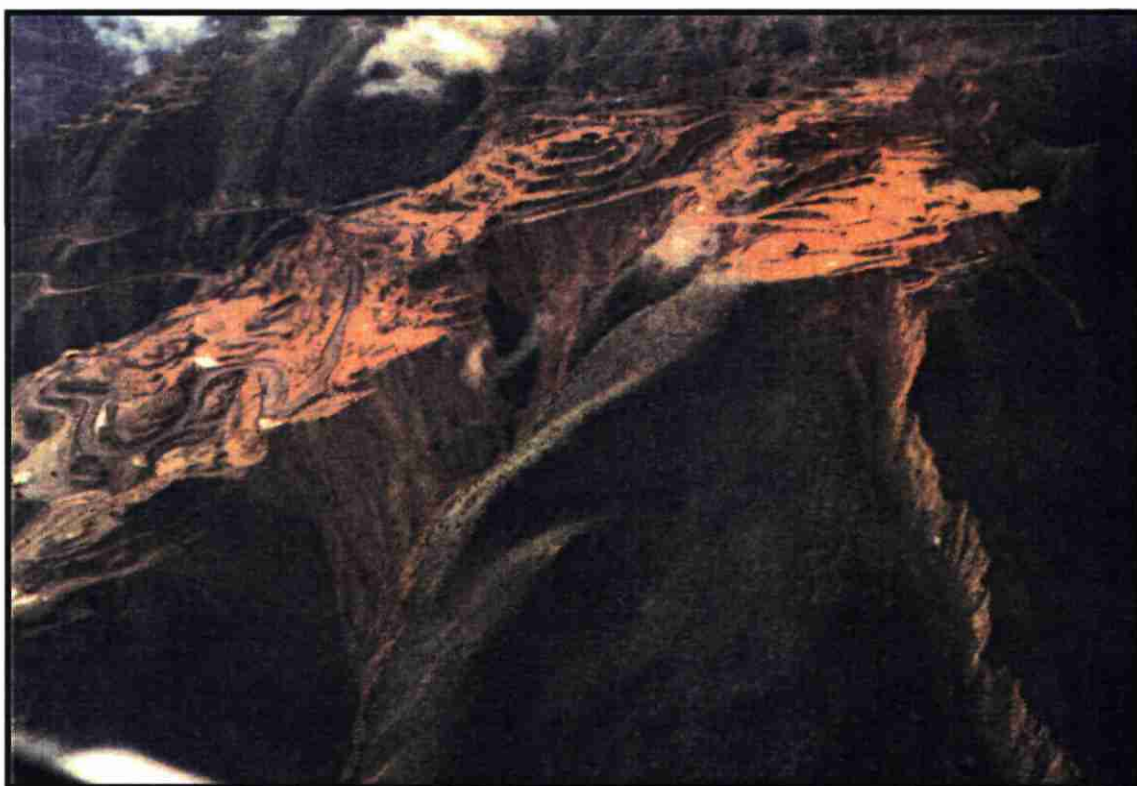


Fig. 66 – Le haut de la ravine du creek Jeanne et Marie (in Dinger & Tachker, 1989) et de la mine Bel-Air

Le torrent du creek Jeanne et Marie offre encore aujourd'hui une vision spectaculaire sur les phénomènes d'érosion et de dépôts dont il est ou a été le siège (figures 66 et 67). Ce secteur a fait l'objet de quelques notes (Perinet, SARH, 1989, Meunier, CEMAGREF, 1990) et de développements dans la thèse de Laganier (1994). Devant l'ampleur répétée des désordres induits au niveau du creek Jeanne et Marie (route coupée ou ensevelie, ponts détruits ou ennoyés), le phénomène a conduit à la construction d'un important ouvrage de franchissement, d'une portée suffisamment longue pour être hors d'atteinte des impacts torrentiels et de leur transport solides (figure 63).

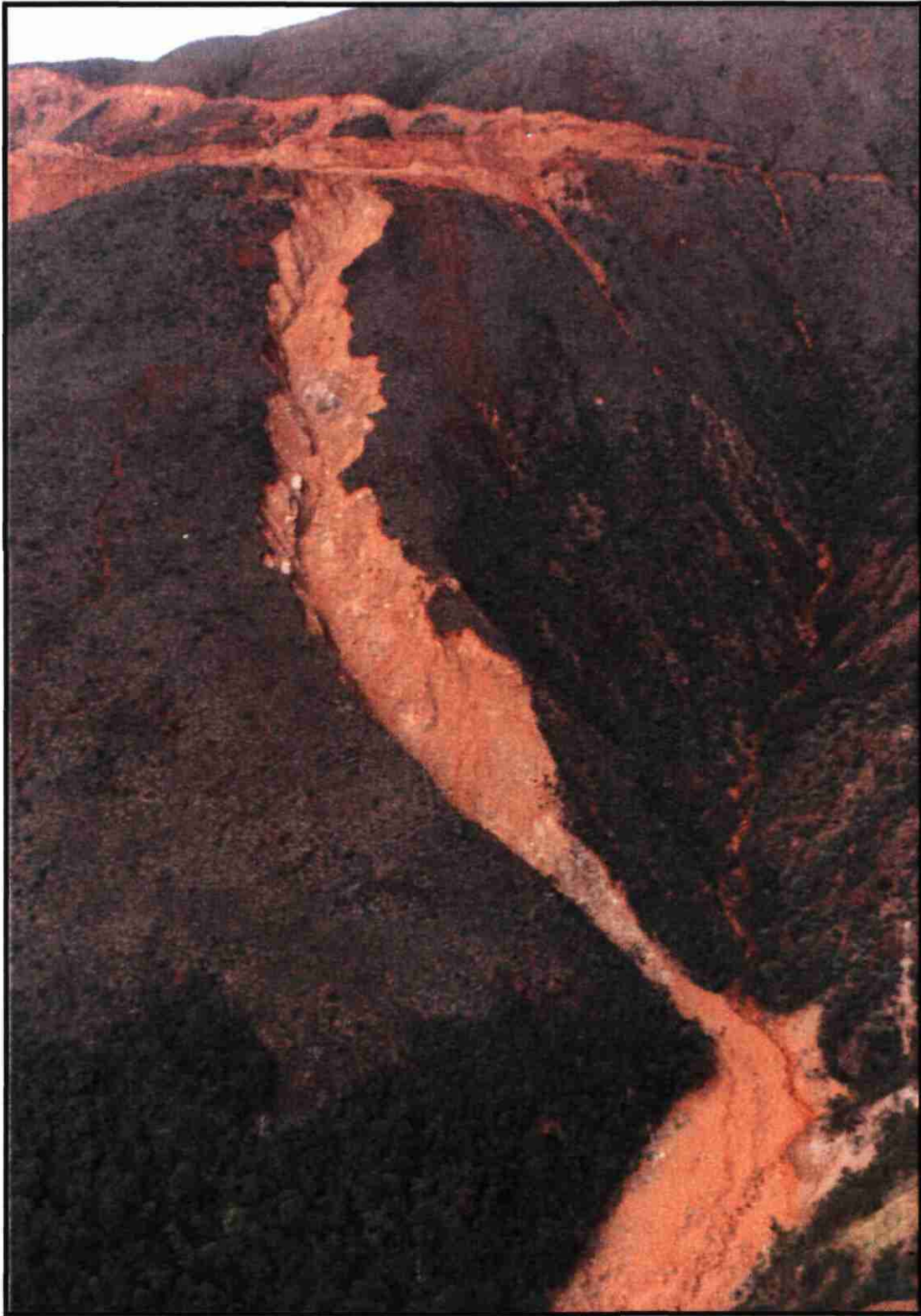


Fig. 67 – La ravine du creek Jeanne et Marie vue d'hélicoptère (photo. B. Pelletier, SLN)

Description des désordres

Les désordres principaux sont localisés sur la partie nord du bassin versant et sur le cours aval du creek Jeanne et Marie (Xwé Méa sur la carte 1 / 50 000). Le phénomène prend naissance au niveau de l'ancienne Mine Bel Air à l'altitude 700 mètres. Une zone de ravinement très importante est ouverte au droit de l'ancienne zone d'exploitation (figures 66 et 67). La tête amont de la ravine entaille directement un ancien niveau d'exploitation, qui s'y est en partie effondré ainsi qu'une ancienne piste. Quelques fissures montrent que des panneaux sont encore susceptibles de glisser dans cette zone.

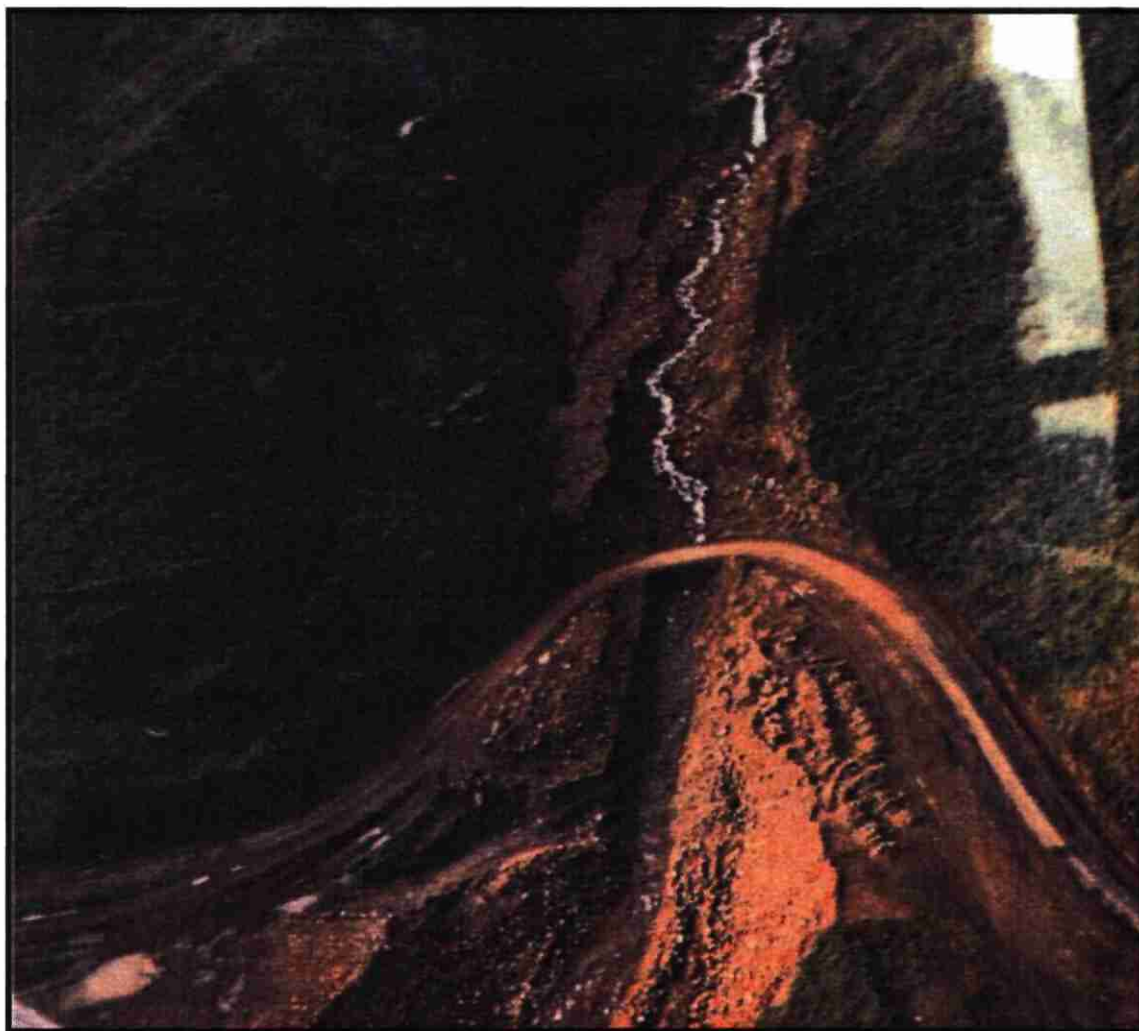


Fig. 68 – Le creek Jeanne et Marie, franchissement en 1989, après déblaiement et avant la construction du franchissement (Dinger, Tachker, 1989)

La ravine déverse à l'aval d'importantes quantités de matériaux qui, pour l'essentiel, viennent sédimenter au niveau du franchissement de la RP4 à la cote 130 mètres, soit 670 mètres en contrebas.

La ravine est ouverte dans des terrains peu cohésifs. Ses flancs montrent la nature des terrains affectés par l'érosion intensive. On peut y voir une accumulation de blocs hétérométriques de péridotites, emballés dans une matrice latéritique. Les pointements de squelette rocheux en place sont peu nombreux. Quelques chicots de blocs disloqués serpentineux dont l'autochtonie est discutable se rencontrent çà et là, mais il est difficile de dire s'il s'agit d'un niveau de saprolite en place. Un horizon continu de latérite rouge pisolithique supportant un maquis à fougères recouvre cet ensemble meuble. Il est généralement mince, moins d'un mètre, mais peut s'épaissir localement pour former des poches de quelques mètres de profondeur. Le long de la ravine, on est frappé par l'absence de substrat rocheux sain, en place, et de profil d'altération latéritique in situ. On note aussi l'absence de traces de stratifications résultant de dépôts de pente successifs. Il semble que l'on soit en présence d'une couverture de blocs de péridotites et de latérites remaniées, dans une dynamique de versant, contrôlée principalement par la gravité (éboulement de blocs grossiers, épandage de latérite). Ces blocs, déposés en limite d'équilibre, ont été temporairement cimentés par le processus d'altération. L'épaisseur de cette couverture est inconnue. La pente de ce versant dans les zones non incisées est très régulière. Elle est de 50% soit 1V pour 2H. Il importe ici de dire que cette formation de versant est d'origine naturelle.



Fig. 69 – Franchissement actuel du creek Jeanne et Marie sur la RP 4

Plusieurs petites ravines (figure 62) ou rigoles sont visibles à proximité de la ravine principale. Leur évolution pourrait être à terme dommageable.

Quelques chiffres permettent de mesurer l'ampleur du phénomène. L'entaille entre les cotes 400 et 700 mètres, soit sur 300 mètres de dénivellation, atteint une profondeur de 10 à 30 mètres. Sa largeur est de 40 à 60 mètres. La pente longitudinale entre ces deux cotes est de 30°. Le phénomène de ravinement est actif, c'est à dire qu'à chaque épisode pluvieux, des matériaux sont arrachés à la zone d'incision et les bordures de

la ravine reculent par érosion régressive, avec écroulement de paquets de matériaux latéritiques et rocheux.

A l'aval de la cote 400 mètres, le torrent sort des formations ultrabasiques pour traverser les formations volcano-sédimentaires indurées et résistantes du substrat. Ces dernières sont beaucoup moins affectées par l'action érosive du torrent. L'entaille du creek se referme alors. Dans cette zone et jusqu'à la RP4, la pente moyenne est bien moindre, de 10°, entrecoupée de cascades. Cette partie du cours d'eau est une zone de transit où les matériaux arrachés à la ravine sus-jacente sont transportés et en majorité évacués vers les zones plus basses. Des zones d'accumulations ou de ravinements intermédiaires sont présentes mais sans communes mesures avec ce qui existe aux deux extrémités du système.

Puis le creek rejoint la vallée principale de la Kuenthio à l'altitude 70 mètres avec une pente de 6°. C'est dans ce secteur, dans un segment qui débute 100 mètres à l'aval de la RP4 et descend jusqu'à la confluence avec la Kuenthio, que le torrent dépose sa charge solide et a détruit ou enseveli à plusieurs reprises les ouvrages existants.

Meunier (1990) décrit dans la partie du torrent immédiatement située sous la ravine, des dépôts formant des bourrelets latéraux hauts de plus de trois mètres, à pentes extérieures raides, des bourrelets frontaux, un lit mineur en U à berges non stratifiées, toutes formes caractéristiques des laves torrentielles. Lors des pluies exceptionnelles, de type cyclonique, des coulées de débris peuvent ainsi se former, mais il n'est pas certain que les laves torrentielles aient atteint la RP4. Il se pourrait qu'à ce niveau on soit en présence de simples charriages torrentiels. Lors d'épisodes pluvieux plus modérés le torrent doit être le siège de charriages sporadiques tout le long de son cours. Ce dernier phénomène peut conduire à l'accumulation progressive, par petite quantité, de volumes importants d'alluvions instables qui peuvent être chassés à l'occasion des fortes précipitations.

Les évaluations faites sur les volumes charriés lors du cyclone Anne (1988) sont de 50 000 m³ par Meunier (1990). Laganier fait état de 370 000 m³ charriés entre 1955 et 1989 sur la base d'une planimétrie de deux cartes topographiques (1/50 000 et 1/10 000), dont le calcul paraît fort discutable si l'on considère la précision de ces cartes. Pour Meunier (1990), le volume total érodé serait de 225 000 m³. Le volume disponible, mobilisable, serait de 300 000 m³ (Perinet, 1989, Meunier, 1990).

Quel que soit le volume concerné, il apparaît en définitive :

1 - que le milieu dans lequel s'est ouverte la ravine du creek Jeanne et Marie est extrêmement fragile et que l'on est en présence d'un contexte d'équilibre naturel précaire, avec des masses encore très importantes de matériaux mobilisables,

2 – que d'anciens travaux miniers ont joué un rôle dans la naissance du processus.

Une ravine identique dans ses caractéristiques à celle du creek Jeanne et Marie, mais pas dans son ampleur, existe au niveau du creek Vincent, un peu plus au NW.

Analyse rétrospective par photographies aériennes

L'interprétation des photographies aériennes (figure 65) permet d'apporter quelques éléments pour reconstituer l'évolution dans le temps du phénomène. Six jeux de photographies aériennes ont été utilisés.

1942 : Sur ces photographies (les plus anciennes que l'on possède), il n'y a pas de désordres notables au niveau du creek Jeanne et Marie et du creek Vincent. Une partie de l'exploitation de la mine Bel Air est déjà active et des traînées de "décharges sauvages" sont visibles sur les bordures de cette exploitation.

1954 : État quasiment similaire au précédent. On note la progression de la surface des zones minières décapées et la présence de quelques zones d'arrachement en bordure des creeks principaux, avec ou sans liaison avec les travaux miniers. La ravine du creek Vincent semble s'amorcer au niveau de la zone de serpentine basale.

1971 : C'est l'époque du "Boom". L'emprise de la mine Bel Air a considérablement augmenté. Les décharges minières dans le versant également. C'est à ce stade que la ravine du creek Vincent semble se développer sur toute sa hauteur. D'autres incisions de moindre importance se développent à l'aval de l'exploitation. Une zone de dépôt est nettement visible à l'aval du creek Jeanne et Marie, au niveau de la RP4. Il est probable qu'elle correspond à une zone d'atterrissement de lave torrentielle. Cependant son origine n'est pas décelable. La ravine du creek Jeanne et Marie n'existe cependant toujours pas, bien qu'une petite entaille soit discernable à son futur emplacement, sous le niveau situé à la cote 729 mètres.

1976 : L'emprise de la mine Bel Air n'a pas notablement varié et ne changera plus par la suite. La ravine du creek Jeanne et Marie est désormais présente sur toute sa hauteur. La petite entaille visible en 1971 a donné naissance à une ravine rectiligne, suivant le chemin de plus grande pente, qui préfigure la grande ravine ouverte actuellement. D'autres entailles rectilignes sont notables dans tout l'environnement de l'exploitation dont une en particulier, qui disparaîtra par la suite, est située à 100 mètres au Nord de la ravine du creek Jeanne et Marie. La ravine du creek Vincent est dorénavant bien établie et s'élargit. Les décharges sauvages dans les versants paraissent régresser.

1985 : La ravine du creek Jeanne et Marie est désormais largement ouverte. Des signes de ravinement, de charriage et de dépôts sont notoires tout au long du creek. D'autres ravines dont celle du creek Vincent ont tendance à s'agrandir, notamment en tête et à l'aval, au niveau de la serpentine basale.

1989 : Le cyclone Anne est passé en janvier 1988. On constate un agrandissement et un recul du front d'érosion des deux ravines du creek Jeanne et Marie et du creek Vincent. Le recul de la tête de la ravine du creek Jeanne et Marie est très net et se propage désormais aux replats les plus inférieurs de l'exploitation de la mine Bel-Air. Meunier a calculé à partir d'interprétation des mêmes photographies aériennes que le volume érodé entre 1985 et 1989 était de 112 000 m³. On remarque une régression certaine au niveau des anciennes zones de décharges sauvages dans les versants.

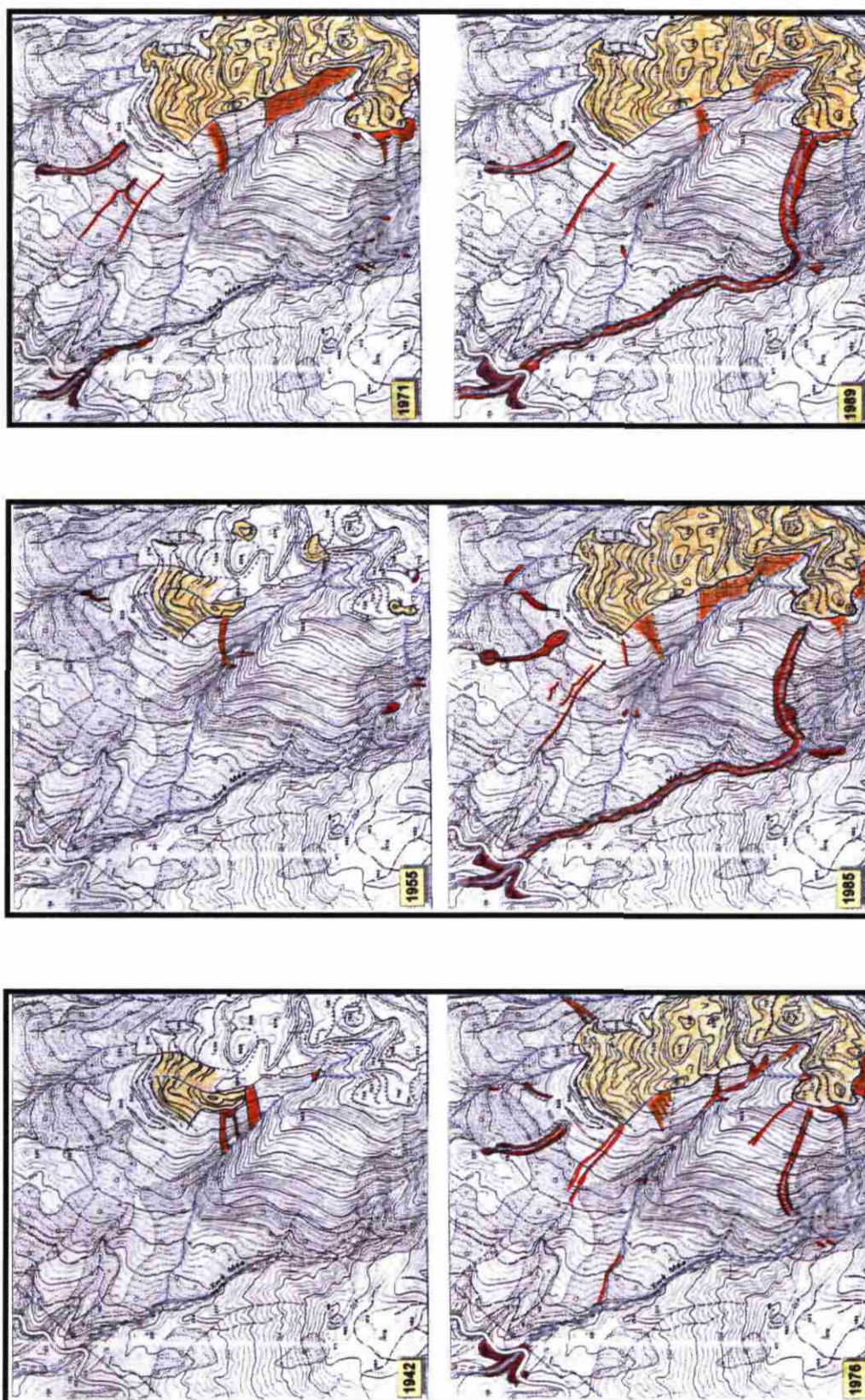


Fig. 70 – Reconstitution par interprétation de photographies aériennes de l'évolution de la ravine du creek Jeanne et Marie

Conclusions

La ravine du creek Jeanne et Marie et celle du creek Vincent se sont ouvertes dans une zone où il n'y avait pas d'écoulement naturel. La ravine du creek Jeanne et Marie s'est constituée à partir d'une entaille minuscule, visible en 1971, dans un support très peu cohésif dont la fragilité était insoupçonnable a priori. Il ne s'agit pas d'une zone de décharge sauvage, mais bien d'un terrain naturel très fragile. Dans ce substrat meuble, les phénomènes de ravinement sont dus à des eaux de ruissellement mal maîtrisées, soit que cela ne faisait pas partie des préoccupations de l'époque, soit que l'exploitation ait été abandonnée à elle-même sans précaution. La zone a probablement servi d'exutoire aux eaux pluviales non contrôlées, ruisselant sur l'ensemble décapé de la mine Bel-Air. L'essentiel des désordres, c'est à dire la formation irréversible des ravines, est apparu dans les années 70, et antérieurement à 1976.

Il est frappant de constater que dans le même secteur de la mine Bel Air on peut voir :

- des décharges sauvages de surfaces considérables qui n'occasionnent que peu de nuisances à l'aval et dont la surface semble s'amenuiser.
- la naissance de désordres considérables dans un milieu naturel auparavant indemne aussi bien au niveau de la ravine du creek Jeanne et Marie que de celle du creek Vincent.

La fragilité de ces terrains et leur sensibilité vis à vis de l'érosion était difficile à prévoir. On doit donc rester très modeste vis à vis de la prévision des désordres éventuels. Ceci n'écarte pas pour autant le fait que les désordres créés sont d'origine anthropique. Si un contrôle rigoureux des circuits d'écoulement d'eau avait été mis en place à l'époque (avant 1976), il est probable qu'on eut pu éviter le creusement de la ravine principale.

Les mesures de protection actuelles consistent à l'amont à couper les alimentations possibles en eau de ruissellement par une série de merlons, à l'aval à enjamber le creek par un franchissement de longue portée laissant le chemin libre aux coulées de débris et dont le dimensionnement assure le débit des transits torrentiels liquides et solides. La première mesure est active et tend à réduire le phénomène même de ravinement qui fournit les matériaux indésirables vers l'aval. La deuxième mesure est une défense passive qui a pour objectif de minimiser les coûts occasionnés par les travaux de déblaiement et de réfection au niveau de la RP4. Elle a été choisie comme le meilleur compromis permettant de minimiser les coûts de déblaiement face à la pérennisation du trafic. D'autres solutions telles qu'un nouveau tracé de la route en rive gauche de la Kuenthio, la réalisation d'un radier renforcé, le déplacement de l'ancien pont en amont, voire même un tunnel-galerie, avaient été envisagées (Meunier 1990).

Malgré ces mesures, force est de constater que la zone des ravines recueillera toujours une certaine quantité d'eau de ruissellement, ne serait-ce que par effet d'impluvium sur sa propre superficie qui est non négligeable. L'importance de la zone ravinée fait qu'il est inutile ou illusoire de vouloir procéder à une stabilisation et à un traitement confortatif. Le phénomène de ravinement est désormais irréversible et il n'y a pas de mesures techniques susceptibles de l'enrayer. Une surveillance des plate-formes au niveau desquelles les têtes des ravines affleurent est conseillée. Il n'est en effet pas exclu que d'autres panneaux de cette plate-forme s'effondrent dans l'entonnoir entraînant les merlons de protection qu'elle supporte et réactivant donc

l'érosion. En particulier au niveau de la tête de la ravine du creek Vincent une surveillance de fissures éventuelles est recommandée.

10.3.2. Les ravines de Païdi (commune de Pouembout, massif du Kopéto)

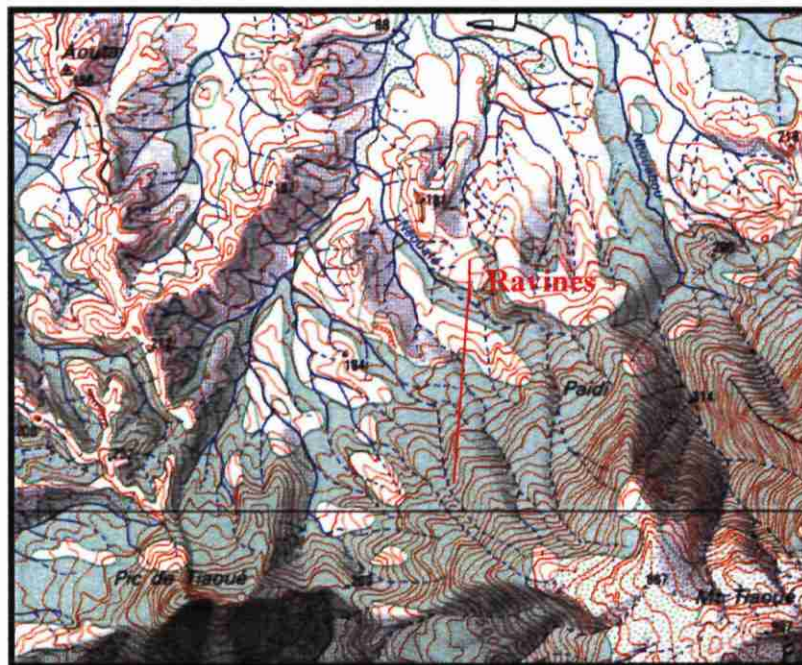


Fig. 71 – Localisation des ravines du Païdi

Localisation

Ces ravines sont ouvertes sur le flanc nord-ouest du massif du Kopéto. Les profils des versants du massif de péridotites dans ce secteur sont caractérisés par une succession de croupes et épaulements sur toute leur hauteur, morphologie qui contraste avec le paysage de crêtes aiguës et de vallées encaissées qui se développe plus à l'Est. La pente est soutenue. Les épaisseurs altérées, çà et là visibles dans des arrachements, sont parfois importantes. Quelques replats sont coiffés de latérites plus épaisses dans lesquelles s'ouvrent de petits lavakas.

Contexte géologique

Le substrat de la zone latéritisée est constitué en majorité par des serpentinites liées à la surface de base du massif qui forme ici un net épaissement, en liaison avec la pincée serpentineuse du Pic de Tiaoué. Les péridotites surmontant celles-ci sont très fracturées et serpentinisées. Les ravines prennent leur extension maximum, en largeur et profondeur, au niveau des principales passées serpentineuses.

Description des désordres

Un ensemble de quatre profondes ravines est ouvert dans ce contexte géologiquement fragile. Elles s'étendent sur un kilomètre en longueur et largeur, pour une dénivellation de plus de quatre cents mètres (sommet à 700 m, base à 380 m). Leurs examens montrent qu'outre la couverture latéritique discontinue, elles s'enfoncent dans un matériau sans cohésion constitué par un saprolite de péridotite serpentinisée, disloquée, altérée, à poches de latérite et cloisons de silice.

Deux anciennes exploitations sont présentes sur les crêtes. Ces travaux, en grande partie manuels sans doute, sont antérieurs aux années 50. Les zones d'extraction se présentent en gradins. Les accès se faisaient par sentier comme cela est visible sur les photographies aériennes de 1954. Les talus et déblais qui ceinturent ces petites exploitations alimentent directement les ravines situées en contrebas.



Fig. 72 – Les ravines du Païdi (photographie B. Pelletier, SLN)

A l'amont et sur les flancs des ravines, il y a érosion régressive, avec écroulements par paquets, de matériaux latéritiques saprolitiques et serpentiniteux. A l'aval, on relève des décharges torrentielles au pied du relief, puis dans une zone plus éloignée, sur environ un kilomètre dans la plaine, des phénomènes d'engravement et de charriage dans les rivières. Un captage est implanté au débouché d'un des creeks drainant les ravines (captage de la Néouaté). Bien que sa construction ait fait l'objet d'aménagements particuliers pour le protéger (petites retenues et seuils en béton, dispositif pour faire

glisser les blocs), cet ouvrage est très exposé. La turbidité de l'eau collectée dans tout ce bassin lors des fortes précipitations est également un problème.

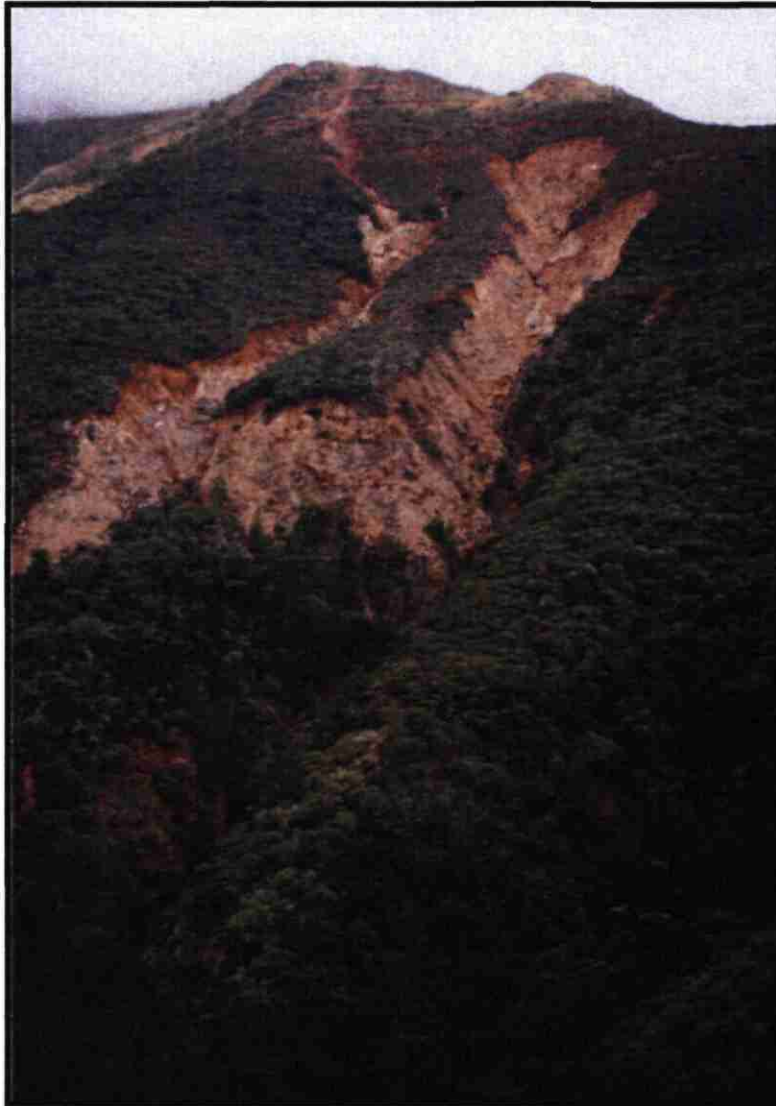


Fig. 73 – Les ravines du Païdi : Vue depuis l'aval (photographie B. Pelletier, SLN)

A l'aval, au débouché des torrents qui drainent les ravines, dans la zone de raccord avec la plaine de la Pouembout, de nombreux témoins d'anciennes laves torrentielles ont pu être cartographiés. Les témoins de ces coulées boueuses à blocs, sont assez haut perché par rapport au creek actuel. Les éléments remaniés sont par ailleurs profondément altérés, parfois "à cœur", et un front de latéritisation rouge est parfois visible à la partie supérieure des coulées. Ces phénomènes d'altération témoignent de l'ancienneté de la mise en place de ces décharges torrentielles et par delà d'une certaine pérennité du fonctionnement de ces appareils torrentiels à l'aplomb d'une zone d'instabilité permanente.

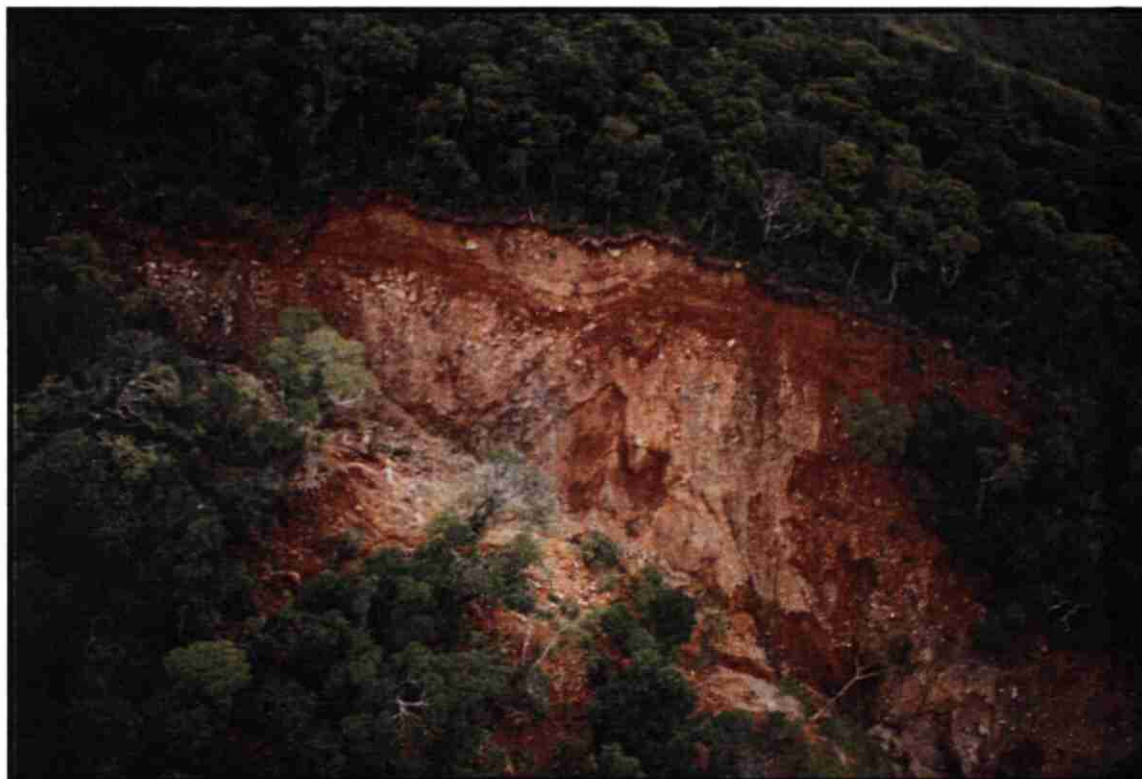


Fig.74 – Les ravines du Païdi : Détail des matériaux dans la partie aval (photographie B. Pelletier, SLN)

Analyse rétrospective par photographies aériennes

Quatre jeux de photographies aériennes ont permis de suivre l'évolution de cette zone.

1942 :

Toutes les ravines existent dès cette époque, mais les anciennes exploitations sont aussi présentes. L'alluvionnement en plaine est également visible.

1954 :

Des traînées de décharges de stériles et des entailles de ruissellement vont se jeter dans les ravines.

1976 :

Un lacs de routes de prospection a été ouvert autour des anciennes zones d'extraction. Il ne semble pas que les lèvres des ravines se soient déplacées de manière conséquente, par contre tous les lits des creek sont encombrés de sédiments de couleur claire. Des langues de sédiments sont étalées jusque dans la grande plaine. Il y a eu réactivation du processus de ravinement.

1996 (Documents GeoEx - SLN) :

On constate le même phénomène d'engravement torrentiel. La tête amont de la ravine située la plus à l'Ouest a subi un recul sensible.

Conclusions

Il n'est donc pas possible de dire, à partir de ces documents, si les ravines étaient préexistantes aux exploitations ou simplement ébauchées et ont été ravivées par les travaux. Les ravines du Païdi représentent un désordre sérieux car susceptible d'évolution. Il menace vers l'amont, par érosion régressive de reculer jusqu'au plateau du Kopéto. Vers l'aval un captage est très exposé et au-delà, les creeks dans la plaine de la Pouembout, sont engravés. L'érosion y est active, régressive et l'historique montre, au moins depuis 1954, qu'il en a toujours été ainsi.

L'observation géologique et géomorphologique montre que l'aléa trouve son origine dans la superposition d'une zone tectonique (épaississement de la semelle de la nappe des péridotites) et d'une zone d'altération. Il est possible que le phénomène de ravinement ait existé avant l'époque minière, sans certitude cependant. Il est en revanche certain que les premiers travaux, puis les suivants, ont contribué à accélérer le phénomène. Ces travaux de décapages, en augmentant la quantité de ruissellement et en désorganisant le drainage naturel, viennent aggraver un contexte déjà fragile.

L'importance de la zone soumise à une érosion intense (un kilomètre carré sur quatre cent mètres de dénivellation, en fait tout le flanc du massif du Kopéto) et le peu d'enjeux situés en contrebas, font qu'il est inutile ou illusoire de vouloir procéder à une stabilisation et à un traitement de la totalité des désordres. Il serait par contre souhaitable de procéder à des aménagements localisés au sommet des ravines pour mieux gérer les écoulements et ainsi éviter les décharges chroniques de matériaux vers l'aval.

10.3.3. Conclusions sur les ravines à érosion régressive

Les ravines régressives constituent une originalité du cortège des phénomènes d'érosion et d'instabilité dans les massifs de péridotites tout en étant une nuisance importante. Ces formes linéaires d'érosion tirent leur spécificité du milieu saprolitique ou serpentineux fragile dans lequel elles s'installent. On peut distinguer deux zones :

- Les zones amont de ravinement actif peuvent se développer sur quelques centaines de mètres de hauteur (plus de 300 mètres pour le creek Jeanne et Marie, 400 mètres pour les ravines du Païdi) Elles sont le siège de phénomènes récurrents d'instabilité avec écroulements, éboulements et glissements de leurs bordures qui entraînent un recul par érosion régressive. Des laves torrentielles peuvent les parcourir.

- Les zones de dépôts à l'aval peuvent se développer sur de grandes distances, avec déversement de matériaux (plusieurs centaines de milliers de m³) qui peuvent détruire les ouvrages ou engraver les rivières.

Les ravines peuvent se former à partir du ruissellement induit par des travaux miniers ou exister indépendamment de ceux-ci. Leur évolution ne peut s'arrêter qu'avec l'épuisement du matériau au dépens duquel elles s'alimentent. Dans la plupart des cas le pronostic est pessimiste. Il peut être éventuellement ralenti par suppression de l'alimentation en eaux par l'amont. Dans le cas où une source ou une série de sources émergent au sein de la ravine, auto-alimentant le processus, l'évolution du phénomène est irréversible.

10.4. LES COULEES DE DEBRIS ET LAVES TORRENTIELLES

Les coulées de débris sont probablement l'un des aléas les plus commun dans les massifs de péridotites. Il suffit de survoler ces massifs pour en apercevoir en grand nombre, souvent regroupés dans certains versants. Ces essaims de coulées sont vraisemblablement déclenchés par des excès de précipitations.

Elles ont pour origine le départ de portions de versant incluant couverture végétale, latérite et blocs de péridotites, de quelques m² à quelques centaines de m², arrachées en fortes pentes. A l'aval, le matériau, complètement désolidarisé de son point d'origine s'étire linéairement (coulées) et est rapidement canalisé dans des ravines. Selon la proportion de latérites par rapport aux matériaux rocheux et la granulométrie de ces derniers on relèvera divers types à l'aval : coulées boueuses latéritiques, coulées de latérite à blocs, coulées de débris rocheux.

La zone de départ laisse une cicatrice ou niche d'arrachement ouverte dans le couvert végétal et éventuellement le manteau latéritique. Lorsqu'il n'est pas volumineux, le matériau libéré s'arrête en contrebas surtout si la végétation est dense. Plus important, il va s'étaler sous forme d'une langue plus longue, souvent canalisée dans une gouttière, une ravine puis un torrent. Il n'est pas rare qu'il évolue en laves torrentielles.

L'examen de quelques cas montre que la circulation interne de l'eau est fréquemment à l'origine de cet aléa. La mise en pression dans les péridotites fracturées lors des épisodes de fortes précipitations provoque le débouffage de certaines fissures, facilite le glissement de blocs supportés par des fractures à pendage aval et fait céder le mince épiderme végétal protecteur ou le manteau latéritique.

Quelques exemples dont certains ont menacé des installations sont présentés ci-dessous.

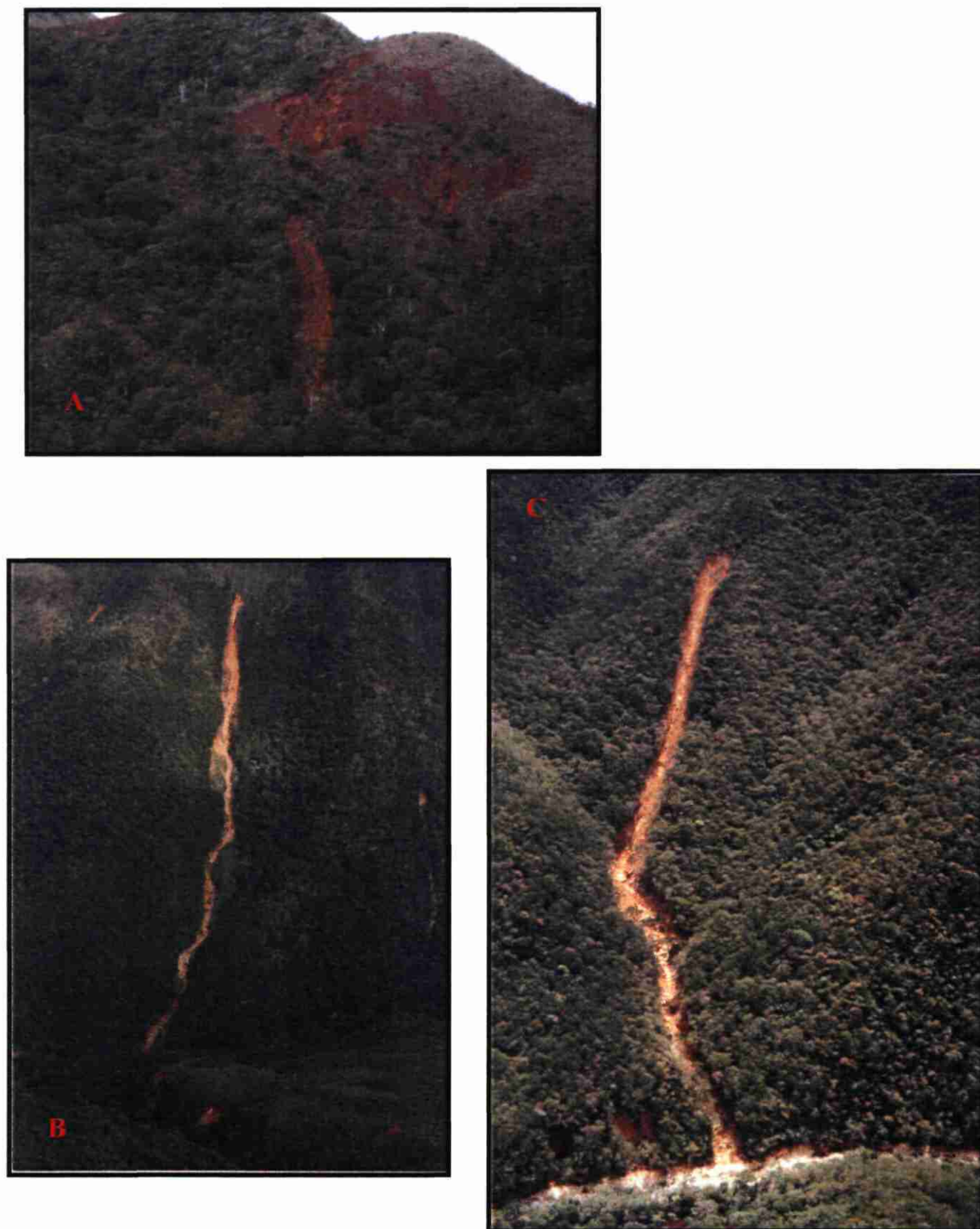


Fig. 75 – Exemples de coulées de débris dans les massifs de péridotites

A : Coulée à dominante latéritique (Montagne des Sources)

B : Creek Daoui après le cyclone Frank (Massif du Mé Maoya, photographie B. Pelletier, SLN)

C : Creek Yomaa (massif du Mé Maoya, photographie B. Pelletier, SLN)

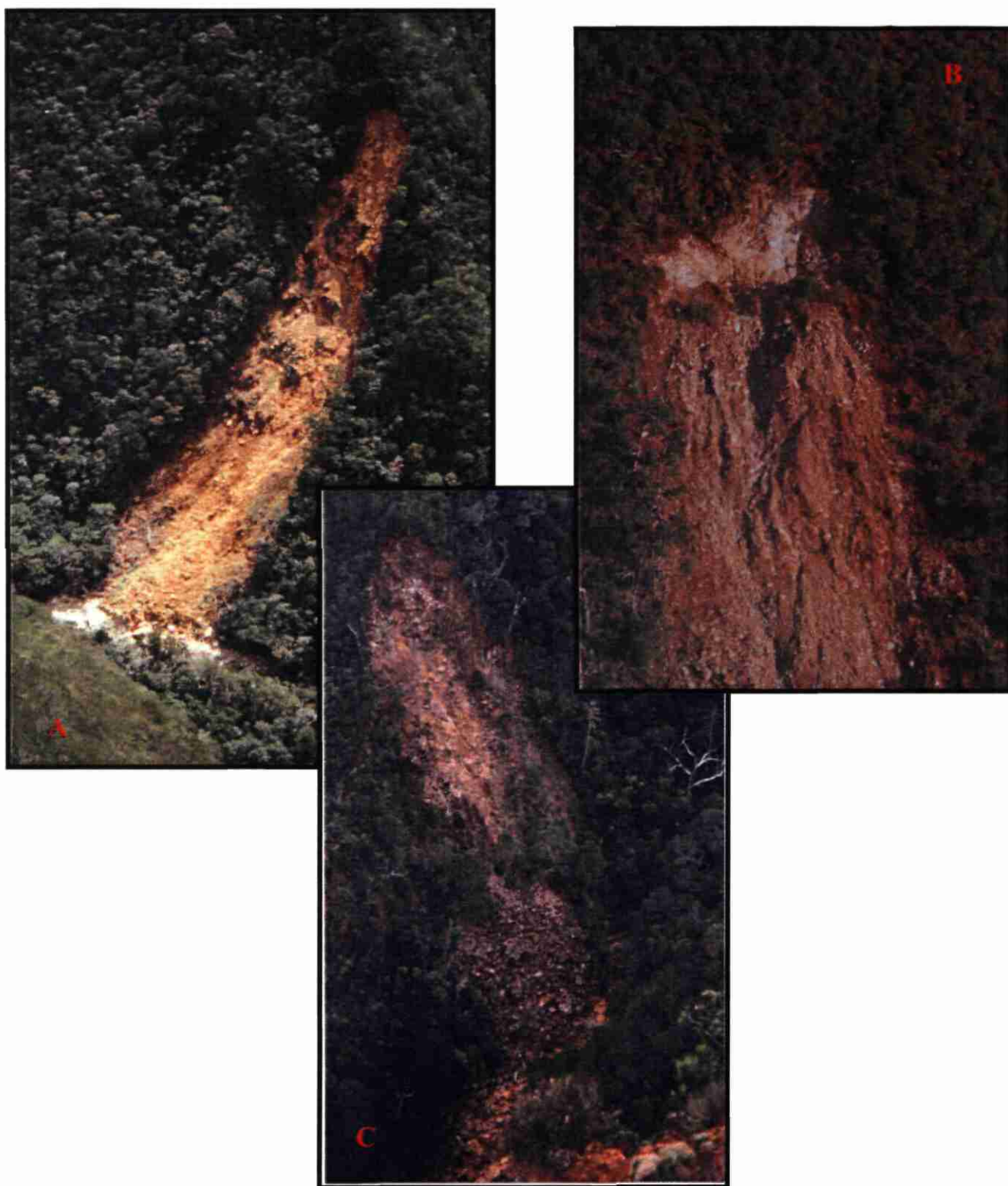


Fig. 76 – Exemples de coulées de débris à dominante rocheuse

A : Creek Yomaa (massif du Mé Maoya, novembre 1999, photographie B. Pelletier, SLN)

B : Tomo (septembre 2000, photographie B. Pelletier, SLN)

C : Creek Boutana (massif du Kopéto, octobre 1999, photographie B. Pelletier, SLN)



Fig. 77 – Exemples d'une zone constellée d'arrachements et de coulées de débris (bassin de la Tontouta)



Fig. 78 – Coulées de débris évoluant en laves torrentielles (vallée de la Dumbéa, branche sud)

10.4.1. Les coulées de débris de la mine de Koé (commune de Dumbéa)



Fig. 79 – Localisation des coulées de débris de la mine de Koé



Fig. 80 – Le dôme de la mine de Koé et les coulées de débris sur son flanc nord vu d'avion

Localisation

L'ancienne mine de Koé ou des Barbouilleurs occupe un promontoire en forme de dôme en rive gauche de la Dumbéa, à l'endroit où celle-ci débouche du massif du Sud dans sa grande plaine alluviale côtière. Le secteur situé en contrebas de l'ancienne exploitation présente une bonne densité d'urbanisation et des aménagements divers (station de pompage, élevages, plantations), avec notamment le passage de la piste d'accès au barrage de Dumbéa et de la conduite d'alimentation en eaux de Nouméa. Des nuisances sont régulièrement signalées dans les lotissements dominés par

l'ancienne exploitation et des éboulements sont déjà venus couper la piste du barrage. Signalons que la canalisation qui alimente Nouméa en eau potable passe à ce niveau.

Nature des désordres

Des coulées de débris rocheux sont parties en rive gauche de la rivière et sont venues occasionnellement couper la piste d'accès au barrage de Dumbéa. Ces désordres prennent place dans la concavité creusée par un méandre de la Dumbéa, en zone de forte pente. Le creusement et le déblaiement constant de la rivière dans cette zone concave sape le versant fragile et appelle au vide les matériaux surplombants.

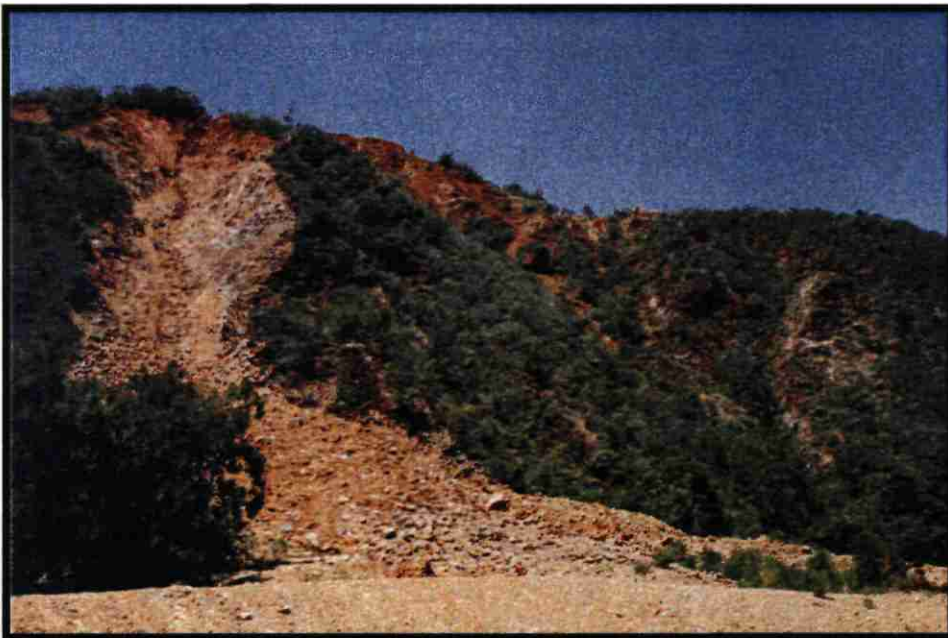


Fig. 81 – Coulée de débris rocheux en rive gauche de la Dumbéa

Géologie

Le substrat de la zone est constitué par des argilites sénoniennes et des basaltes, relativement altérés, mais n'ayant pas posé jusqu'à présent de problèmes particuliers. La nappe des péridotites chevauche et domine cet ensemble. L'ancienne mine de Koé est implantée sur un dôme latéritisé, à la morphologie convexe particulièrement bien exprimée. Situé dans le contexte de la semelle de charriage du massif ultrabasique, l'armature péridotitique de ce dôme est intensément fracturée et serpentinisée. Des arrachements concaves entaillent ces zones ainsi que des ravines profondes.

En contrebas du dôme, sur le substrat volcano-sédimentaire, on relève un ensemble d'anciennes coulées latéritiques à blocs. Ces dernières sont actuellement réduites à l'état de lambeaux, disséqués par l'érosion, parfois perchés sur les crêtes, avec donc inversion du relief par rapport à leur gisement d'origine. La base de ces coulées est nette, tranchée comme au rasoir, attestant du dynamisme soudain de leur mise en place.

Analyse rétrospective par photographies aériennes

L'examen des photographies aériennes de 1954 montre que les coulées de débris étaient déjà actives à cette époque alors que l'exploitation n'existait pas. L'examen des photographies plus récentes montre que des coulées semblent régulièrement se produire. Le fonctionnement de cette zone semble très ancien puisque des laves torrentielles fossiles se retrouvent actuellement perchées en crête. Il est certain néanmoins que les travaux de décapage, en augmentant la quantité de ruissellement et en désorganisant le drainage naturel, viennent aggraver un contexte déjà fragile.

Conclusion

Des travaux de protection ont été exécutés sur le site et à la périphérie de la mine : drains, reprofilage, pose de géotextile sur des zones de déblais meubles, revégétalisation. Ces mesures permettront de minimiser les phénomènes de ruissellement sur l'ancien site de la mine et par là même de diminuer la fréquence de déclenchement des coulées.

10.4.2. La coulée de débris du dôme du Mont Koghi (commune de Dumbéa)



Fig. 82 – Localisation de la coulée du dôme du Mont-Koghi

Localisation

Un arrachement important est ouvert sur le flanc sud-est du dôme des Koghis, à proximité des lacets de la route d'accès.

Description des désordres

On observe dans ce secteur une niche d'arrachement de 50 m de large pour 70 m en hauteur, ouverte dans une zone de serpentinite et de péridotites très fracturées où la roche mère a une très faible cohésion. La latérite ne forme qu'un mince horizon superficiel sur ce substrat fragile. La zone d'arrachement affecte la forme d'un entonnoir à la base duquel de petites sources naissent, au contact avec les schistes imperméables crétacés sous-jacents. Le ravinement est actif, il a un caractère régressif et les ouvrages (routes, caniveaux) situés immédiatement au-dessus pourraient être menacés. On ne note toutefois pas de fissures de traction à l'arrière de l'entonnoir.

La première mention de la niche d'arrachement remonte à 1990 (Riondy, 1990). Il est à remarquer que la niche d'arrachement a été pendant longtemps directement alimentée par un caniveau de la route, ce qui a aggravé les instabilités. Ce fait avait été signalé dès 1990 et n'a été corrigé que récemment.

Géologie

Les désordres observés prennent donc naissance dans une zone très tectonisée et très altérée, au niveau de l'interface péridotites/schistes. Cette zone peut se suivre sur tout le pourtour du dôme des Koghis. Elle est parfois soulignée par des petites sources. La mise en pression de ces venues d'eau, au pied de zones disloquées et fragiles, en domaine de forte pente, déclenche le départ brusque de paquets de matériaux à faible cohésion : blocs disjoints de péridotite serpentinisée emballés dans de la latérite, glissements plus ou moins accentués, arrachements dans lesquels

s'installe l'érosion régressive. Ces mouvements de terrain peuvent provoquer la ruine des ouvrages qu'ils supportent : routes, habitations, Le phénomène a de fortes probabilités de se déclencher lors d'épisodes de précipitations abondantes, notamment lors du passage des cyclones.

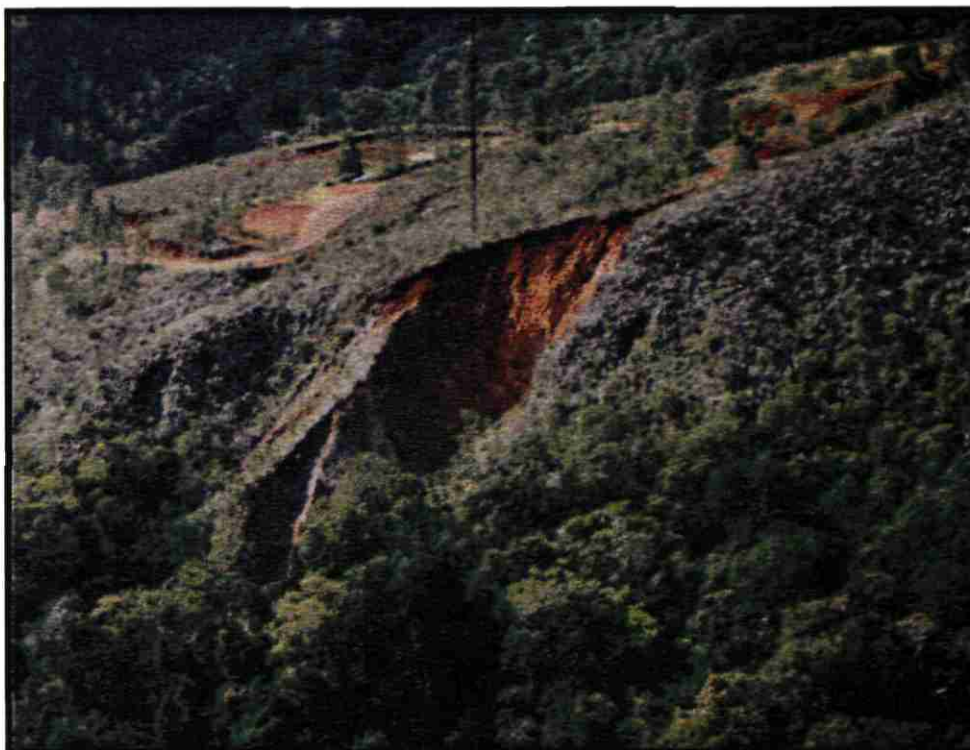


Fig. 83 – La niche d'arrachement de la coulée du Mont-Koghi

Dangerosité

Les nombreuses et anciennes coulées de matériel latéritique à blocs de péridotites qui encombre la vallée des Koghis attestent de la permanence et de l'ancienneté des phénomènes d'instabilité de cette zone. Il est clair que tout le pourtour du dôme des Koghis est une zone fragile et sujette à ce type de mouvements de terrains. Il est tout à fait possible que de nouveaux désordres importants se produisent lors d'épisodes de fortes précipitations.

10.4.3. Les laves torrentielles du Parc de Ouénarou (commune de Yaté)

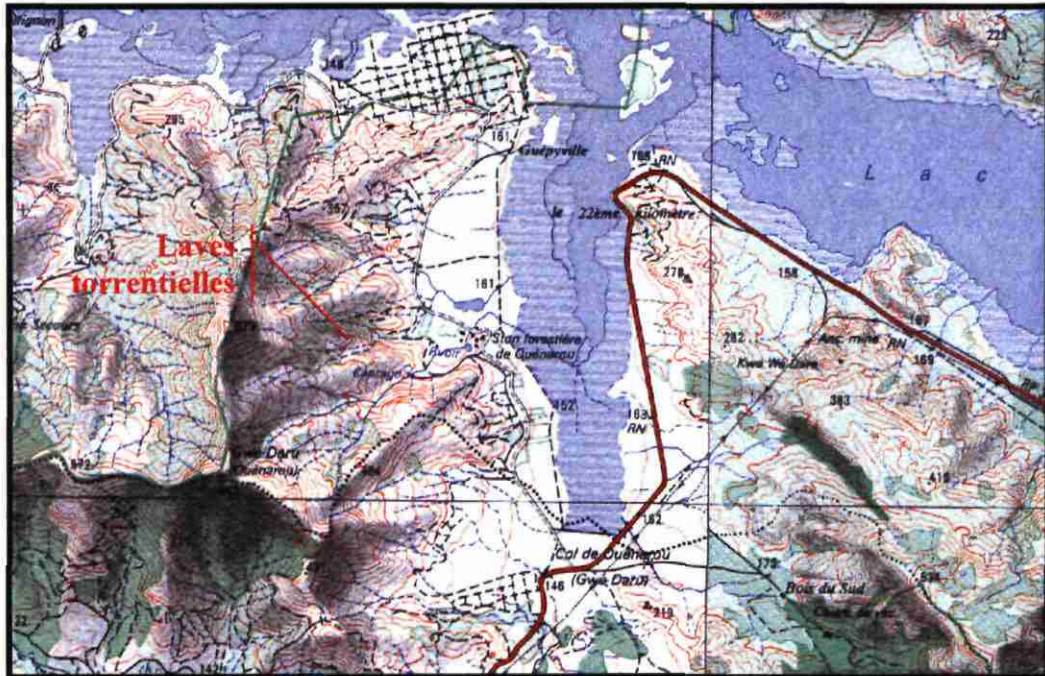


Fig. 84 – Localisation des laves torrentielles

Localisation

Deux torrents qui ont été le siège de laves torrentielles peuvent être étudiés au parc de la Rivière Bleue. Les phénomènes concernés se trouvent au droit des installations de la station forestière de Ouénarou.

Description des désordres

Le phénomène s'est déroulé durant le cyclone Anne (janvier 1988) au cours duquel des précipitations de 100 à 150 mm en 24h ont été enregistrées. Deux creeks contigus, de même importance, c'est à dire de bassins versants comparables (140 ha pour le creek ouest et 60 ha pour le creek est), situés à 800 mètres en moyenne l'un de l'autre, ont été le siège d'un écoulement de "lave torrentielle" caractéristique. Le creek situé le plus à l'ouest débouche sur la zone d'installation des infrastructures du parc forestier de Ouénarou qui ont été par endroit ennoyées sur près d'un mètre de boue. Aujourd'hui, soit 15 ans après l'événement, les traces du phénomène sont encore bien visibles, la végétation n'ayant pas recolonisé le secteur.

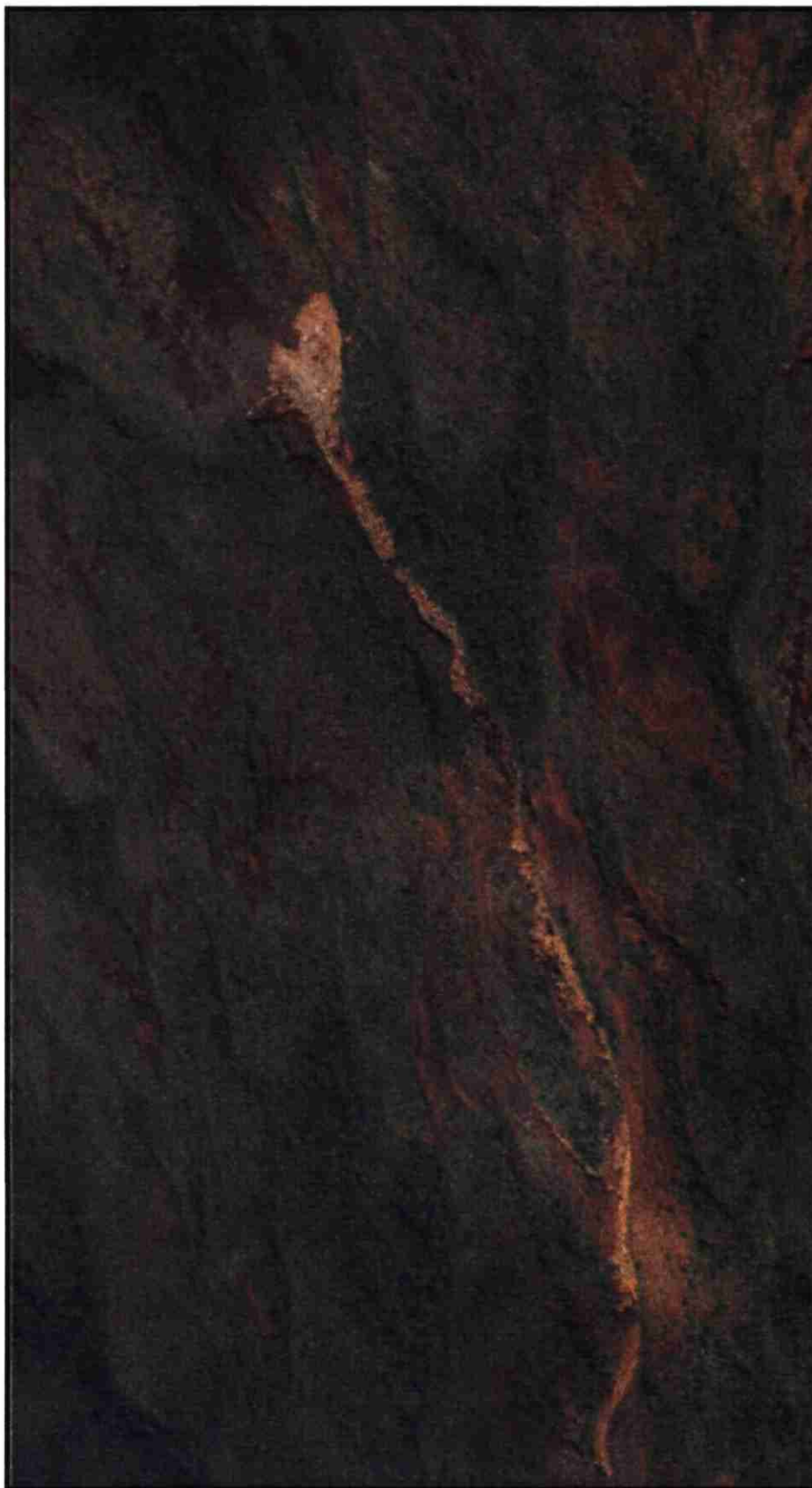


Fig. 85 – Laves torrentielles du parc de la Rivière Bleue : Vue générale du creek ouest

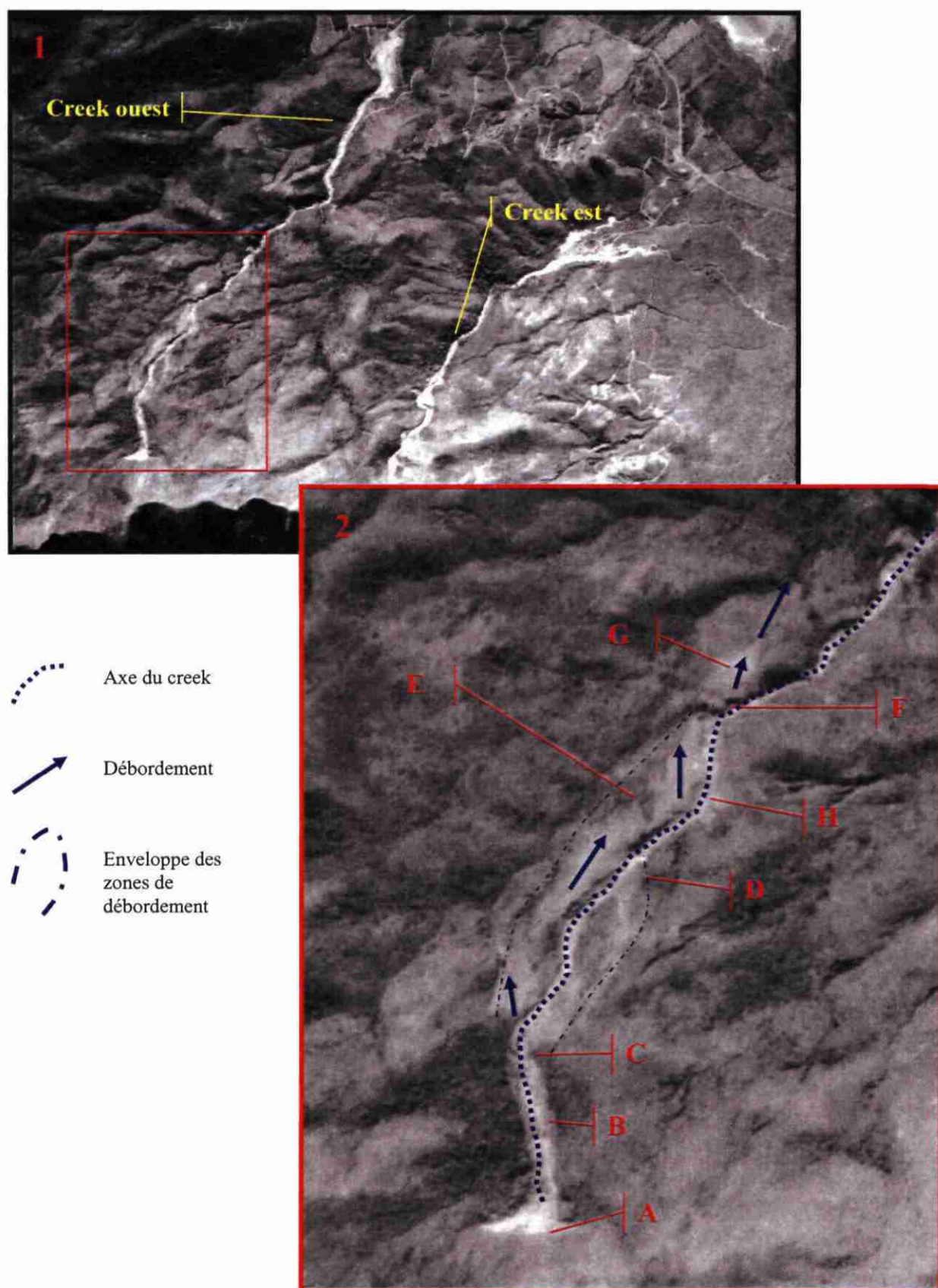


Fig. 86 – Laves torrentielles du parc de la Rivière Bleue (photographies aériennes de 1992)

1 – Vue générale des deux torrents affectés

2 – Détail du tiers supérieur du creek ouest

Contexte géologique

Le contexte géologique est constitué par des péridotites banales. On ne distingue pas d'accident d'importance régionale, ni de zone serpentinisée, broyée ou fragilisée d'ampleur remarquable, ni de signes d'instabilité du type glissement de terrain. Le manteau latéritique est omniprésent et les péridotites saines n'affleurent que sur les crêtes les plus hautes, à l'état de squelette rocheux ou au fond des creeks principaux. La morphologie résultante est celle d'une succession de replats étagés, de croupes, de mamelons convexes, parcourus par un chevelu hydrographique de petits talwegs plus ou moins incisés et anastomosés.

Il y a absence totale d'aménagement humain dans les 2/3 supérieurs des bassins versants concernés. Une zone de prospection avec un lacs de pistes de reconnaissance existe à proximité de la piste d'accès à la maison forestière, entre les creeks ouest et est, dans une position aval et une altitude bien trop basse pour pouvoir être prise en considération par rapport au phénomène concerné.

Description détaillée des phénomènes

Creek ouest : Le lit du creek a été entièrement décapé et mis à vif sur une longueur totale de 2 kilomètres. Les berges montrent sur toute la longueur du creek, de nombreux arrachements et petites zones d'instabilité avec écroulements et paquets instables. La pente moyenne du creek est de 20 %. Le dénivelé total entre crête (570 m) et station forestière (170 m) est de 400 mètres.



Fig. 87 – Creek ouest : zone de débordement.

Le flot est allé envahir la rive droite (extérieur de la courbe) où il a rasé la végétation et déposés de gros blocs.

On peut distinguer sur les photographies aériennes de 1992, trois zones représentant chacune un tiers de la longueur du cours d'eau.

Le tiers supérieur correspond à un tronçon où les phénomènes ont été les plus violents du moins si l'on en juge par les traces encore visibles. La niche d'arrachement (point A) montre un front de forme plane, d'orientation NW-SE de 100 m de large. Elle ne semble pas correspondre à un accident structural particulier (fracture ou filon de

gabbro altéré) mais plutôt au décollement d'une loupe de latérite s'épaississant vers l'aval, par rapport au substrat rocheux, en zone de forte pente. A l'aval de cette niche d'arrachement, la coulée a traversé un bouquet de forêt à l'emporte-pièce (point B) puis a parcouru une distance de 200 mètres sur un segment relativement peu pentu (20 %) avant de déboucher sur un ressaut (point C) où la pente s'accélère brutalement pour passer à 40 % sur 400 mètres. Dans cette zone, la masse liquide et boueuse est sortie du lit du creek aussi bien en rive droite qu'en rive gauche, débordant les berges et s'étalant à travers le maquis (point D) pour parfois se déverser dans les talwegs voisins (point E). Les traces de ce passage sont encore nettement visibles sur les photographies aériennes de 1992. Sur le terrain, la végétation a été arrachée, la latérite lissée et "rayée" par les débris solides entraînés qui ont laissé des empreintes de stries parallèles à l'écoulement. Ces surfaces sont constellées de gros blocs rocheux déposés par la coulée. La hauteur des berges qui ont été débordées est en moyenne de 5 mètres. On peut encore suivre (point H) sur la partie concave (externe) de certaines courbes du creek, la trace du flux qui est remonté par force centrifuge pour aller décaper la végétation, alors que la partie convexe (interne) de la courbe, à une altitude moindre, est indemne. Ce détail souligne le comportement global de la coulée en tant que fluide dynamique.

Au bout de ce tronçon pentu, le cours d'eau fait un coude vers la droite (point F). La masse boueuse, dans son élan, a débordé en partie la berge gauche, haute de 5 à 10 mètres, pour continuer tout droit sur un épaulement (point G) où elle s'est étalée avant de se déverser vers un autre talweg.

Le tiers médian du creek est plus encaissé, incisé au sein des latérites et des péridotites latéritisées à squelette rocheux. Dans cette partie où la pente moyenne n'est plus que de 15 % le flux de matériaux a été beaucoup plus contenu et chenalisé. Il n'y a pas eu divagations et débordements, mais sapement des berges et "ramonage" du lit.

Dans le tiers inférieur du creek où la pente passe à 10 puis 5 %, le flux ayant perdu son énergie, les phénomènes de dépôts ont dominé bien que certaines parois du creek dans les courbes concaves montrent encore des signes de sapement et d'arrachement. Le lit du creek, constitué par une accumulation de gros blocs et de graviers, s'élargit et s'évase puis forme un cône de déjection. Des petites levées latérales séparées par des chenaux aujourd'hui asséchés sont encore visibles. Les boues déposées dans cette zone ont été depuis dégagées par les travaux de curage et nettoyées par les pluies postérieures. Les témoignages font cependant état, au matin du sinistre, d'une hauteur de un mètre de boue latéritique à 100 mètres en amont de la route du parc et de nombreux épandages boueux vers l'aval.

Creek est : Bien qu'un peu moins important, car de bassin versant plus réduit, on retrouve une zonation identique dans le phénomène, depuis l'amont jusqu'à l'aval.

Dans le tiers supérieur, la niche d'arrachement n'est pas aussi bien individualisée que dans le creek ouest. On assiste plutôt à la coalescence de nombreux petits arrachements. Le phénomène de divagation est absent car le flux est contenu à la faveur d'une topographie plus encaissée. En revanche le phénomène de débordement par rapport au lit normal et de remontée du flux par force centrifuge sur l'extérieur des courbes est très net en certains points, tel le point I où le maquis est rasé sur 10 à 50 mètres de large en dehors de l'axe du creek.

Enfin dans le tiers inférieur, deux zones de dépôts de blocs s'individualisent mais il nous est impossible de dire si elles se sont formées simultanément ou si elles correspondent à deux épisodes séparés.



Fig. 88 – Creek ouest : Zone de débordement avec végétation rasée et dépôts de gros blocs

Synthèse

Dans le cas des laves torrentielles décrites précédemment, le fait que deux bassins contigus aient été le siège du même phénomène est révélateur de conditions particulières, spatialement (et aussi apparemment temporellement) groupées. On constate l'absence de contexte géologique anormal, particulièrement fragile, commun aux deux bassins versants. Tout au plus peut-on noter l'abondance des latérites mais cela n'est pas exceptionnel dans cette partie du Massif du Sud. Il paraît plus logique d'imputer le déclenchement du phénomène à des conditions climatiques exceptionnelles liées au passage du cyclone Anne.

10.4.4. Les laves torrentielles de la rivière Daoui (massif du Mé Maoya)



Fig. 89 – Localisation des laves torrentielles de la rivière Daoui

Localisation

A l'instar des laves torrentielles du Parc de la rivière Bleue, déclenchées par le passage du cyclone Anne, les laves torrentielles de la rivière Daoui sont le résultat du passage du cyclone Frank (février 1999) à proximité du massif du Mé Maoya (234 mm de précipitation à la station de Nessadiou).

Description des désordres

Une série de coulées de débris et de laves torrentielles se sont formées durant cet épisode de précipitations exceptionnelles sur l'extrémité sud du massif du Mé Maoya. La principale zone touchée correspond au bassin de la rivière Daoui où un captage a été entièrement enseveli et certaines pistes coupées. Les principaux désordres se placent en rive gauche de la rivière. Ils affectent un relief dont la couverture latéritique est relativement constante et épaisse. La plupart des coulées sont à dominante latéritique.

La coulée la plus importante est issue d'une ravine qui prend naissance vers 500 mètres d'altitude (figure 90, point A). Une quantité assez considérable de matériau a été canalisée dans cette tranchée naturelle où la pente est de 50 %, probablement sous forme de lave torrentielle si l'on en juge par son comportement vers l'aval. En effet, au niveau d'un replat, dont l'altitude moyenne est de 350 mètres et dont la pente n'est plus que de 20 %, une partie du flot de matériaux, au lieu de suivre l'axe de la ravine qui décrit un coude vers la gauche (point C), a continué tout droit, débordant du lit pourtant encaissé, pour venir s'étaler en un cône de 80 mètres de rayon dans les brousses en rive droite (point B). A partir de cette accumulation intermédiaire, de grandes quantités de boues latéritiques se sont déversées dans les deux têtes d'une autre ravine (point D) qui prend naissance au niveau du replat. En d'autres termes, la

lave torrentielle est sortie de son lit et a poursuivi son cours dans un autre creek. On mesure, ce disant, les énergies considérables mises en jeu.

Ce sont ces écoulements boueux principalement qui sont responsables de l'ensevelissement du captage. Une dizaine d'autres coulées surtout boueuses, parfois rocheuses, qui se sont produites à l'amont du captage, ont contribué à ce fait.

Conclusion

Comme dans le cas précédent (Parc de la Rivière Bleue) on constate la grande quantité de latérite dans ce secteur et l'occurrence d'un cyclone, dans un domaine géologiquement commun (sans fragilité particulière) du massif de péridotites.



Fig. 90 – Laves torrentielles de la Daoui (2000, photographie B. Pelletier, SLN)

10.4.5. Conclusions sur les coulées de débris et laves torrentielles

Les coulées de débris et laves torrentielles sont donc des phénomènes courants dans les massifs de péridotites. Les coulées sont nombreuses, les laves torrentielles plus rares et semblent nécessiter la survenue de précipitations exceptionnelles cycloniques. Les coulées rocheuses de courtes trajectoires peuvent s'apparenter aux écroulements. Les coulées à forte composante boueuse qui sont chenalisées et entraînées loin de leur zone de départ, peuvent évoluer en laves torrentielles. Tous les intermédiaires existent entre ces deux extrêmes.

C'est de loin ce dernier type qui est le plus préoccupant, car il est rapide et destructeur. L'énergie mise en jeu dans ces phénomènes est illustrée par les débordements et changements de cours constatés dans les deux exemples du Parc de la Rivière Bleue et de la Daoui. Ils ne requièrent pas de conditions géologiques particulières, si ce n'est la présence de latérite en grande quantité dont la mise en solution constituera une matrice boueuse, support pour les blocs rocheux et la végétation arrachée tout au long de la zone d'écoulement. Les pentes concernées ne semblent pas particulièrement fortes (20 à 40 % dans le cas du Parc de la Rivière Bleue, 20 à 50 % dans le cas de la Daoui), les modifications du cours et débordements pouvant se produire dans les zones de plus faible gradient.

Le phénomène de lave torrentielle peut se comparer à celui d'une crue torrentielle dégénérant en crue à régime anormal. Le phénomène de crue torrentielle est relativement classique et fait partie du fonctionnement normal des cours d'eau en zone montagneuse. Il est principalement dû à un temps de réponse très court des bassins versants, à une forte amplitude des débits, à des profils en long très irréguliers et surtout à une charge solide importante et variée dans sa nature (sédiments, roches, végétaux). C'est en temps "normal", la réponse hydrologique "normale" d'un bassin versant en pays montagneux. Cette réponse peut être décrite par une fonction hydrologique déterministe. Au-delà de ce fonctionnement chronique, dans certaines situations où des événements aggravants connexes surviennent, le comportement torrentiel s'écarte du déroulement prédictible et génère le phénomène de lave torrentielle : écoulement d'un fluide boueux charriant des blocs et des troncs d'arbres.

Pour que le phénomène fonctionne, il nécessite une proportion importante de matériaux fins (ici les latérites en abondance) qui, fluidifiés, peuvent emballer des blocs "en suspension" de taille considérable. Il demande également des précipitations exceptionnelles comme celles qui accompagnent les cyclones, précédées par des périodes d'imprégnation ayant saturé les terrains, jouent un rôle essentiel dans le déclenchement des crues sortant de la normalité.

En conclusion, on peut dire que les phénomènes décrits ne sont pas exceptionnels dans le contexte du Massif du Sud et que leur fréquence de retour doit correspondre à celle d'un cyclone de l'importance du cyclone Anne ou du cyclone Frank.

10.5. CONCLUSIONS SUR LES MOUVEMENTS DE TERRAINS DANS LES MASSIFS DE PERIDOTITE

Les mouvements de terrain du domaine des massifs de péridotites se distinguent radicalement de ceux du domaine du substrat volcano-sédimentaire. Ils offrent un éventail typologique beaucoup plus varié, parfois original (ravines à érosion régressive). Les phénomènes concernés sont plus importants en termes de dimensions, de puissance et donc de dangerosité. Ils sont à la mesure de ce milieu montagneux très particulier. Les surfaces et longueurs affectées, les volumes déplacés, peuvent être considérables. C'est dans la géologie très particulière des massifs de péridotites et de leur altération qu'il faut voir le facteur déterminant l'originalité des phénomènes décrits précédemment.

Le démantèlement progressif des massifs de péridotites s'inscrit dans un cycle où se succèdent tour à tour les processus d'altération chimique et les processus d'érosion mécanique.

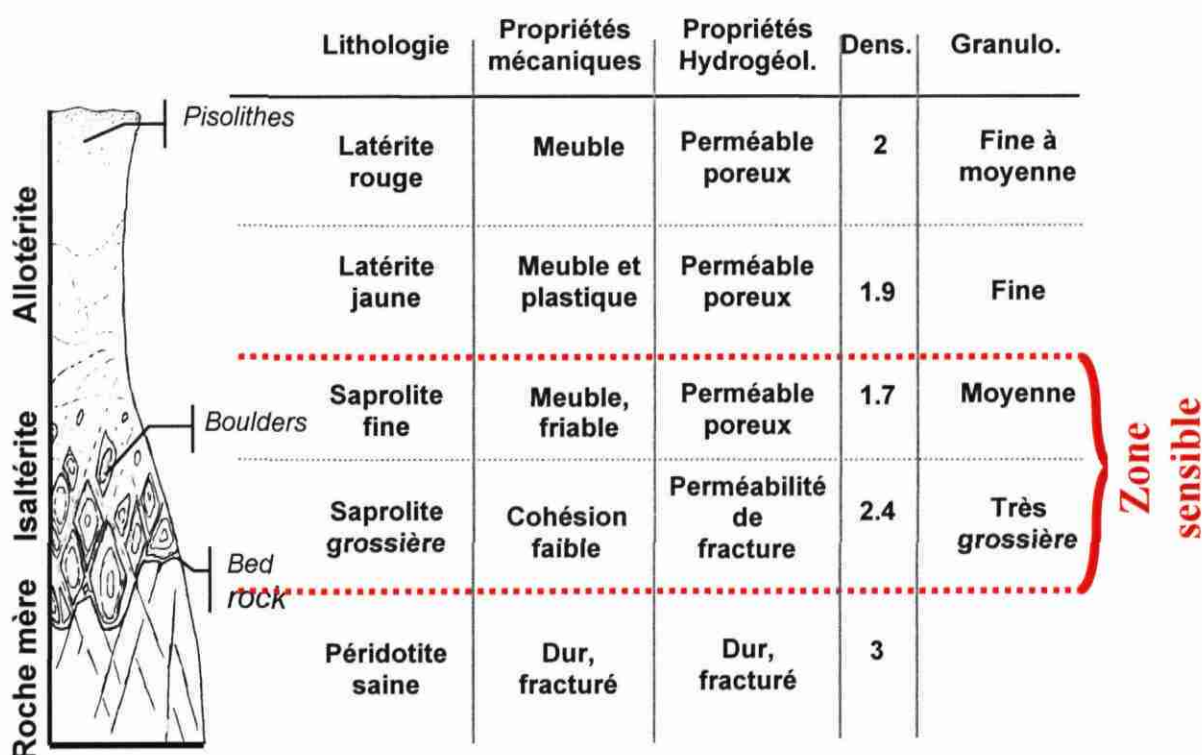


Fig. 91 - Quelques propriétés des profils d'altération sur péridotites

L'altération chimique aboutit à la formation de profils latéritiques dont les différents niveaux lithologiques ont des propriétés géomécaniques, hydrogéologiques et physiques distinctes (figure 88). Le milieu cassant péridotitique est généralement fortement fracturé. L'état général de fracturation des roches est en effet tel qu'il n'y a pratiquement pas de zones où la roche ne soit pas découpée par un maillage dense, libérant des blocs de diverses tailles. C'est grâce à ses discontinuités qu'il est

relativement aisé d'aménager des pistes pénétrant au cœur des massifs. Mais c'est aussi à cause d'elles que les massifs présentent une certaine vulnérabilité.

A cet égard, la base des profils d'altération, c'est-à-dire l'interface entre roche mère saine et roche altérée, représente la zone de plus grande sensibilité aux mouvements de terrain (figure 91). Celle-ci résulte de son hétérogénéité, de sa faible cohésion (blocs séparés par des cloisons de latérite) et des circulations d'eau dans ce front d'altération.

Lorsque la fracturation est très intense, corollaire en général d'une plus grande pénétration de l'altération, cette sensibilité est accrue. Il en est ainsi des zones d'écaillages tectoniques serpentinisées dont la principale est représentée par la zone basale de charriage de la nappe des péridotites. Dans neuf phénomènes, tous types confondus, sur les quatorze décrits précédemment, les instabilités trouvent leur origine dans ou au-dessus de cette zone. Les phénomènes y sont également favorisés par les venues d'eau dont la circulation est perturbée en milieu serpentineux et bloquée à la base de la nappe.

Le démantèlement et l'évacuation des matériaux des massifs de péridotite (principalement les produits de l'altération) se fait sous forme plus ou moins brutale. Les gradients importants d'altitude, induisent des phénomènes violents et soudains et impliquent de grandes quantités d'eau et de matériaux, mobilisés durant de brefs épisodes. Enfin, les différents types de matériaux détritiques sont distribués par le réseau torrentiel puis fluvial et progressivement triés jusqu'à la côte. La nature de ces phénomènes, souvent violents et soudains, mettant en jeu des énergies importantes, constituent l'essence même des aléas issus des massifs de péridotites.

La typologie qui peut être proposée repose sur la lithologie, les mécanismes, mais surtout sur le contexte topographique. D'une manière générale, on distingue à l'amont, des zones de départ, d'ablation, à l'aval de celles-ci des zones plus ou moins étroites et linéaires de transit, elles-mêmes suivies par des zones d'atterrissement ou de dépôts et enfin des systèmes torrentiels :

- Zones de départ amont :
 - chutes de blocs,
 - lavakas,
 - glissements,
 - coulées,
- Zones de transit et transport :
 - ravines,
- Zones de dépôt :
 - coulées boueuses, laves torrentielles,
- Systèmes torrentiels :
 - engravement et charriage torrentiel,
 - sapement de berges
 - débordements, divagations torrentielles

Est-il utile de dire que la plupart de ces phénomènes passent graduellement de l'un à l'autre, qu'ils se télescopent et que les mécanismes se recouvrent partiellement ?

On constate une association des phénomènes dans l'espace (multiplication des désordres de différents types dans une même région) et dans le temps (répétitivité des phénomènes). Ceci est illustré par l'exemple de la zone des lotissement Mille et Berton au Mont-Dore, où des phénomènes complexes (glissements puis lave torrentielle dans un premier temps, glissement - coulée dans une deuxième temps) se succèdent et se superposent. Souvent la répétitivité dans le temps est soulignée par d'anciennes manifestations "fossilisées" (anciennes laves torrentielles). Ces indices qui sont aisément détectables par une approche géologique doivent être systématiquement relevés. Leur présence doit contribuer au diagnostic général dans une région donnée.

En domaine de massif de péridotites (souvent improprement qualifiés de "massifs miniers"), le problème des interférences entre les mouvements de terrains et l'activité minière ne doit pas être éludé. L'activité extractive est souvent hâtivement désignée comme coupable de nombreux désordres. A l'opposé, on oublie généralement que les installations et les réserves de minerais constituent un bien exposé comme les autres aux aléas. Il convient donc de faire la part des choses. L'examen rétrospectif des photographies aériennes permet souvent de reconstituer la chronologie des phénomènes. On peut par exemple montrer l'antériorité des glissements du col du Camp des Sapins par rapport aux exploitations, tout comme on peut reconstituer l'évolution irréversible de la ravine du creek Jeanne et Marie à partir d'anciens travaux miniers.

On constate ainsi que bien des anciens sites des années 70, aujourd'hui abandonnés sont générateurs ou amplificateurs de phénomènes de désordres. Il conviendrait d'établir une cartographie détaillée de l'ensemble de ces sites, dégradés par l'activité minière ancienne, pour pouvoir faire le bilan, région par région, de ce qui est dû à l'activité anthropique et de ce qui a une origine naturelle.

11. Conclusions

La culture du risque reste faible en Nouvelle-Calédonie où il n'y a pas de législation adaptée à la gestion des risques naturels. L'un des meilleurs moyens de lutte contre les risques liés aux mouvements de terrain demeure encore la prévention. C'est dans ce cadre qu'a été entrepris depuis 1999, un programme de cartographie systématique de ce type d'aléa sur le territoire. Après l'étude de douze zones d'intérêt économique réparties en Province Nord et Sud, le temps est venu de faire un bilan des connaissances acquises sur ces phénomènes naturels. Cette synthèse sur l'aléa mouvements de terrains en Nouvelle-Calédonie a été financée par l'État. La spécificité des mouvements de terrain en Nouvelle-Calédonie y est montrée et une typologie adaptée est proposée. Elle repose sur des critères géologiques. Fondamentalement on peut distinguer deux contextes spécifiques :

- le substrat volcano-sédimentaire,
- les massifs de péridotites.

Dans le substrat volcano-sédimentaire les désordres sont d'ampleur limitée en nombre et en intensité. Leur évolution est relativement lente. Les problèmes se posent souvent plus en termes de géotechnique et de stabilité de fondation. On constate cependant l'occurrence fréquente de phénomènes de liquéfaction, liés à de très fortes précipitations, accroissant la dangerosité des phénomènes.

Dans les massifs de péridotites, l'éventail typologique est plus varié, parfois original. Les grandes quantités de matériaux mobilisables, boueux et rocheux, et les dénivelés importants génèrent des phénomènes puissants et de grande ampleur. Les phénomènes les plus dangereux sont constitués par des laves torrentielles. Ces phénomènes destructeurs doivent être redoutés.

Le facteur dominant et permanent, qui détermine les mouvements de terrain sur le territoire est d'ordre géologique. Il résulte de l'altération généralisée des roches et du milieu montagneux à fortes pentes. Le facteur déclenchant est d'ordre météorologique. Il résulte d'épisodes chroniques de précipitations abondantes (cyclones ou dépressions tropicales).

L'aléa en lui-même peut être très important. Des exemples de glissement de terrain mettant en jeu des volumes de plus d'un million de m³ sont présentés. Cependant, le risque reste limité aux zones d'enjeu économique. La progression de l'urbanisation dans certains secteurs, notamment Nouméa, ou le déploiement d'installations industrielles, ne peut se faire sans prendre en compte ces aléas.

Nos connaissances sur la composante géologique des aléas peuvent être améliorées. Le programme de cartographie systématique des aléas doit se poursuivre sur l'ensemble des zones d'intérêt économiques du territoire, chaque campagne de terrain amenant de nouveaux éléments. Mais des progrès sont encore à accomplir, au niveau recherche, pour mieux comprendre l'histoire, l'évolution et la répartition de l'altération.

12. Glossaire

12.1. TERMINOLOGIE ADMINISTRATIVE

A.D.R.M. (en métropole) : Atlas départemental des risques majeurs. Ensemble des cartes intégrées au D.D.R.M. Elles permettent de repérer les communes concernées, risque par risque, puis de localiser au sein de ces communes les périmètres où la confrontation des aléas avec les zones habitées (enjeux) nécessite d'organiser l'information des populations.

Article R. 111-3 du code de l'urbanisme (en métropole) : La construction sur des terrains exposés à un risque, tel que: inondation, érosion, affaissement, éboulement, avalanches, peut, si elle est autorisée, être subordonnée à des conditions spéciales. Ces terrains sont délimités par arrêté préfectoral pris après consultation des services dans les formes prévues par le décret n° 59-701 du 6 juin.

Bassin de risque : Ensemble régional homogène présentant une unité au plan géologique, géomorphologique ou économique (bassin versant, tronçon de vallée, région naturelle) soumis à un même phénomène naturel.

Information préventive : Ensemble des mesures prises par l'État ou à la demande de l'État, pour informer les populations des risques encourus, et des mesures de sauvegarde.

P.E.R. : Plan d'exposition aux risques: Document d'urbanisme ou plan élaboré et mis en œuvre par l'exécutif en concertation avec le maire. Il permet de délimiter dans des zones exposées à un risque naturel prévisible:

- des zones inconstructibles (zones rouges),
- des zones soumises à des prescriptions (zones bleues).

Il s'agit ici d'un document à effet rétroactif qui permet d'imposer des mesures aux biens et aux activités antérieures à sa parution.

P.I.G. : Projet d'intérêt général. Document d'urbanisme en métropole qui peut être utilisé pour prévenir les risques majeurs, qu'ils soient d'ordre technologique ou naturel. Un P.I.G. mentionne notamment:

- la définition précise de son périmètre,
- l'indication des travaux ou (et) les mesures visant à prévenir le risque (inconstructibilité, prescriptions spéciales...)

Il permet au préfet de mettre en demeure les collectivités locales d'intégrer des contraintes urbanistiques dans les schémas directeurs et les plans d'occupation des sols.

P.O.S.: Plan d'occupation des sols. Document d'urbanisme fixant les règles d'occupation des sols sur la commune. Les P.O.S. sont élaborés à l'initiative et sous la responsabilité des maires.

P.P.R.: Plan de prévention des risques (document réglementaire qui délimite les zones exposées aux risques naturels prévisibles en métropole). Procédure déconcentrée et simplifiée qui permet au préfet de prendre en compte les conséquences des risques naturels dans les documents d'urbanisme et les droits d'occupation du sol. Le maire

doit en tenir compte lors de l'élaboration ou de la révision des P.O.S.: le P.P.R. se substitue alors à d'autres procédures telles que P.E.R., R-111-3, P.S.S. etc. Pour plus d'informations, un guide intitulé "Plans de prévention des risques naturels prévisibles - guide général" est disponible auprès de la documentation française : <http://www.ladocfrancaise.gouv.fr>.

12.2. TERMINOLOGIE TECHNIQUE DES ETUDES DE RISQUES

Aléa (natural hazard en anglais) : Probabilité d'occurrence d'un phénomène (naturel ou technologique) dangereux de nature et d'intensité donnée au cours d'une période donnée.

Catastrophe naturelle (Natural disaster) : phénomène ou conjonction de phénomènes dont les effets sont particulièrement dommageables. La notion de catastrophe est éminemment subjective, dépendante de l'état de l'opinion qui fait qu'un événement naturel devient "intolérable" et se transforme en catastrophe. Le niveau de dommages retenu pour définir l'état de catastrophe diffère au plan international selon les instances. En France, il n'est pas fixé. Cette définition est différente de celle de l'article 1 " de la loi n° 82-600 du 13 juillet 1982 relative à l'indemnisation des victimes des catastrophes naturelles, qui indique : " Sont considérés comme effets des catastrophes naturelles [...] les dommages matériels directs ayant eu pour cause déterminante l'intensité anormale d'un agent naturel, lorsque les mesures habituelles à prendre pour prévenir ces dommages n'ont pu empêcher leur survenance ou n'ont pu être prises". La catastrophe est ainsi indépendante du niveau des dommages causés. La notion " d'intensité anormale " et le caractère " naturel " d'un phénomène relèvent d'une décision interministérielle qui déclare " l'état de catastrophe naturelle ".

Danger : état qui correspond aux préjudices potentiels d'un phénomène naturel sur les personnes. Contrairement au risque, le danger existe indépendamment de la présence humaine. Le danger de noyade, par exemple, est inhérent aux inondations et aux raz de marée, celui d'ensevelissement aux avalanches, et celui d'écrasement à une chute de blocs ou à un éboulement. Son niveau est fonction de la probabilité d'occurrence de ce phénomène et de sa gravité.

Désordres : Expression des effets directs et indirects d'un phénomène naturel sur l'intégrité et le fonctionnement des milieux. ils sont caractérisés par différents indicateurs :

- physiques : désordres hydrauliques (érosion de berges), géologiques, etc. ;
- socio-économiques : dysfonctionnements liés aux atteintes des services publics (eau potable, électricité, gaz, hôpitaux, etc.) ;
- humains : population isolée ...

Dommages : Conséquences économiques défavorables d'un phénomène naturel sur les biens, les activités et les personnes. Ils sont exprimés sous une forme quantitative et monétaire.

Endommagement : Mesure un dommage sur un bien ou une activité.

Enjeux : Personnes, biens, activités, moyens, patrimoine, etc. susceptible d'être affectés par un phénomène naturel.

Facteurs : Ensemble des causes qui aboutissent à la réalisation d'un phénomène. En terme d'aléa on distingue des facteurs intrinsèques ou permanents propres aux terrains (composition chimique, physique, texturale, structurale), des facteurs aggravants tels que la pente ou les interventions anthropiques (feux de brousse,

aménagements), et des facteurs déclenchants tels que précipitations abondantes ou séismes.

Gravité : Capacité plus ou moins grande d'un phénomène à provoquer des victimes.

Intensité d'un phénomène : Expression d'un phénomène, évaluée ou mesurée par ses paramètres physiques.

Niveau de risque : Importance ou degré des dégâts et pertes résultant de l'occurrence d'un phénomène naturel d'une ampleur donnée.

Phénomène naturel : Manifestation, spontanée ou non, d'un agent naturel.

Préjudice : Conséquence néfaste, physique ou morale, d'un phénomène naturel sur les personnes.

Prévention : Ensemble des dispositions visant à réduire les impacts d'un phénomène naturel.

Risque majeur : Risque lié à un aléa d'origine naturelle ou anthropique dont les effets prévisibles mettent en jeu un grand nombre de personnes, des dommages importants et dépassent les capacités de réaction des instances directement concernées.

Risque naturel (Natural hazard) : Pertes probables en vies humaines, en biens et activités économiques consécutives à la survenance d'un aléa naturel. Les risques que font courir les aléas sont appréciés selon la possibilité, la probabilité ou la certitude de survenance du mouvement, et selon les effets qu'ils sont susceptibles de produire, victimes et dégâts. L'expression française "risque naturel" recouvre ces deux notions, non sans quelques inconvénients et dangers de confusions. Ces derniers sont aggravés par le fait que le terme anglo-saxon "risk", selon les auteurs, garde le double sens français, ou prend un sens restreint, limité aux effets du phénomène.

Risque prévisible : Risque susceptible de survenir à l'échelle humaine.

12.3. TERMINOLOGIE TECHNIQUE DES PHENOMENES

Arrachement : Cicatrice ouverte dans la partie superficielle du terrain, comprenant les formations d'altérations, les dépôts de pentes, le couvert végétal, selon une surface de rupture.

Avalanches rocheuses (rock avalanche) :

Bad-lands : Mot anglais désignant un terrain où la faible végétation et le ruissellement important ont contribué au décapage du sol et à la formation de profondes ravines.

Charriage torrentiel : Phénomène de remobilisation des sédiments d'un torrent par affouillement du fond de son lit et sapement des berges en période de crue.

Chute de blocs (rock falls) : La chute de blocs ne concerne qu'un nombre réduit d'éléments, l'écroulement ou l'avalanche sont plus volumineux.

Collapse : Mouvement de terrain de grande ampleur impliquant une portion entière de massif, se détachant par gravité et se déstructurant plus ou moins en contrebas.

Coulée boueuse (mudflows), coulée de débris (debris flows) : Écoulement semi-fluide de matériaux boueux ou rocheux, issus d'un glissement de terrain, sur une grande distance. Ce phénomène n'apparaît que dans des matériaux meubles à teneur en eau suffisante.

Écroulement : Mouvement de terrain impliquant un matériau rocheux, se détachant en général d'une falaise.

Embâcle : Phénomène de propagation d'une onde de crue d'eau chargée de débris à l'aval d'un barrage temporaire, à la suite de la rupture de celui-ci. Embâcles et laves torrentielles sont liées.

Engrèvement : Encombrement d'un lit torrentiel par des sédiments de granulométries diverses.

Épandage : Dissémination de sédiments sur une grande surface par une multitude de petits émissaires temporaires.

Érosion : Processus naturel de désagrégation et démantèlement des reliefs terrestres par les agents extérieurs atmosphériques. L'érosion est un phénomène progressif et continu qui intéresse l'échelle de la particule alors que le mouvement de terrain implique le déplacement rapide, soudain et plus ou moins cohérent de volumes beaucoup plus importants.

Fauchage (toppling) : Déformation à échelle de temps quasi-géologique, non dangereux par lui-même, mais que l'on peut considérer, lui aussi comme préparatoire à des mouvements de plus grande ampleur.

Glissement (landslide) : Rupture et déplacement d'une masse de terrain. On distingue à l'amont une niche d'arrachement concave et à l'aval un bourrelet d'accumulation convexe. On distingue des glissements rotationnels et translationnels.

Lavaka : Les "lavakas" (terme masculin), observés pour la première fois à Madagascar, correspondent à la formation de profondes ravines ou canyons à fond peu incliné et à parois verticales de plusieurs mètres de haut qui se développent au sein des latérites.

Laves torrentielles : Écoulement fluide de matériaux comprenant une matrice boueuse dans laquelle sont mis en suspension des blocs qui peuvent être transportés sur de grandes distances.

Mouvements de terrain : Ensemble des phénomènes impliquant le déplacement plus ou moins cohérent de volumes conséquents de matériaux par gravité.

Ravine : Forme linéaire créée par l'érosion d'un passage d'eau dans un matériau meuble.

Solifluxion (creeping) : Phénomènes apparaissant dans des formations à haute teneur en eau.

Tassement de versant (sagging) : Se traduit par des déformations lentes, de faible ampleur, essentiellement verticales en partie haute, plus horizontales en partie basse, dans des formations de versant altérées. On peut les considérer comme une manifestation préalable de mouvements de plus grande ampleur.

12.4. TERMINOLOGIE GEOLOGIQUE

Altérite : Ensemble des produits d'altération des roches du substrat.

Allotérite : Horizon supérieur d'une altérite, où les phénomènes physiques de compaction, tassement et glissement prédominent, et où la roche mère, déstructurée, a subi des transformations texturales et/ou minéralogiques importantes.

Creek : Rivière d'une manière générale dans le vocabulaire néo-calédonien.

Faille : Fracture ou zone de rupture dans la roche, le long de laquelle les deux bords se déplacent l'un par rapport à l'autre. Les failles dessinent des surfaces grossièrement planes, verticales ou inclinées, découpant une partie de la croûte terrestre.

Harzburgite : Péridotite composée principalement de péridots et orthopyroxènes.

Isaltérite : Partie inférieure d'une altérite caractérisée par une transformation essentiellement chimique à volume constant du matériau initial dont la structure de la roche originelle est encore reconnaissable.

Latérite : Produit de l'altération chimique des roches en milieu tropical et équatorial humide ou à saisons sèche et humide alternantes, résultant de l'hydrolyse des roches par l'agressivité climatique. Les latérites se caractérisent pour la plupart par une couleur rouille résultant de la concentration en hydroxydes de fer.

Massifs miniers : Terme local néo-calédonien pour désigner les massifs de roches ultrabasiques.

Modèle Numérique de Terrain (MNT ou DEM en anglais) : Représentation numérique du modelé terrestre permettant de calculer les paramètres morphométriques de la surface. Le modèle principalement utilisé pour sa simplicité d'emploi et de traitement est le modèle maillé régulier qui fait correspondre à chaque maille d'un tableau en ligne (Y) et colonne (X) une altitude moyenne.

Péridotite : Voir roches ultrabasiques.

Saprolite : Voir isaltérite.

Schiste : Terme néo-calédonien indiquant une roche n'appartenant pas aux "massifs miniers", de préférence tendre (basalte altéré, argilite).

Serpentinite : Roche très fracturée, de faible cohésion, dérivant d'une roche ultrabasique par écrasement tectonique la plupart du temps.

Talweg (thalweg) : Ligne imaginaire qui joint les points les plus bas d'une vallée et suivant laquelle s'écoulent les eaux.

Ultrabasique (roches) : Roche déficitaire en silice, essentiellement constituée de silicates de fer et magnésium, d'origine mantellique.

13. Références bibliographiques

A2EP, 1992, Cartographie géologique. Glissement de terrain, commune de Poindimié. NGC 92/09 02, septembre 92.

Anonyme, 1976, Étude concernant l'installation en Nouvelle-Calédonie d'une unité de production céramique. Rapport SERCE, Empeaux, 31470, Saint-Lys, Nov. 1976.

Antoine P., Giraud A., 1995, Typologie des mouvements de versants dans un contexte opérationnel. Bulletin of the International Association of Engineering Geology. Paris, N° 51.

Baltzer F., Trescases J.J., 1971, Érosion, transport et sédimentation liés aux cyclones tropicaux dans les massifs d'ultrabasites de Nouvelle-Calédonie. Première approche du bilan général de l'altération, de l'érosion et de la sédimentation sur péridotite en zone tropicale. Cah. ORSTOM, série Géol., III, 2, pp. 221-244.

Besson L., Durville J.L., Garry G., Graszek E., Hubert T., Toulemont M., 1999, Plans de prévention des risques naturels (PPR), Risques de mouvements de terrain, Guide méthodologique, Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement (DPPR), Ministère de l'Équipement, des transports et du logement (DGUHC). La documentation française.

Besson L., 1996, Les risques naturels en montagne, traitement, prévention, surveillance, éditions Artès-publiaip, 437 pages.

Beaudou A.G., Fromaget M., Podwojewski P., Bourdon E., 1983, Étude morpho-pédologique de la région de Tontouta, cartes à l'échelle du 1 / 50 000, cartographie typologique des sols, ORSTOM.

Bird C.F., Dubois J.P., Iltis A., 1984, The impact of Opencast Mining on the Rivers and Coasts of New-Caledonia, The United Nation University, NRTS-25/UNUP-505.

BRGM, 1989, Zonage et hiérarchisation des risques liés à des mouvements de terrain, partie 2, Zonage et aptitude des terrains à l'aménagement de Poindimié. Rapport BRGM n° 39190 GEG 4S 89.

Cluzel D., Aitchison J., Clarke G., Meffre S., Picard C., 1994, Point de vue sur l'évolution tectonique et géodynamique de la Nouvelle-Calédonie (Pacifique, France). C. R. Acad. Sci. Paris, t. 319, série II, p. 683 à 690.

Cluzel, D., 1998, Du Gondwana au caillou. Les origines géologiques de la Nouvelle-Calédonie. Mines, Bulletin d'Information du secteur minier de la Nouvelle-Calédonie, n° 2.

Collectif, 1981, Atlas de la Nouvelle-Calédonie et Dépendances, ISBN 2-7099-0601-5, 53 planches.

Coussot P., Mudflow Rheology and Dynamics, IAHR monograph, Balkema, Rotterdam, 1997.

Coussot P., Les laves torrentielles. Connaissances de base à l'usage de l'ingénieur, Coll. Études, Cemagref, 23, 1996.

Davies W.M., 1918, Metalliferous laterite in New-Caledonia. Proc. Nat. Acad. Sc., t. 4, pp. 275-280.

Danloux J., Laganier R., 1991, Classification et quantification des phénomènes d'érosion, de transport et de sédimentation sur les bassins touchés par l'exploitation minière en Nouvelle-Calédonie. Hydrol. Continent., vol. 6, N° 1, pp. 15-28.

Dinger F, Tachker Y., 1989, Protection contre les risques naturels et lutte contre l'érosion en Nouvelle-Calédonie, CR. de mission, Territoire de Nouvelle-Calédonie, Office National des Forêts.

Flageollet J.C., 1989, Les mouvements de terrain et leur prévention, Masson, Collection Géographie. 224 p.

Garry G., Grasz E., 1997, Le plan de Prévention des Risques naturels prévisibles (PPR), Guide général, Ministère de l'Environnement, Ministère de l'Équipement.

Garry G., 1998, Expérimentation de la méthode de cartographie hydrogéomorphologique en Nouvelle-Calédonie. CIFEG, Ministère de l'équipement – DGUHC – CETE Méditerranée.

Gasc P., 1978, CEG Poindimié. Glissement de terrain – LBTP Nouméa.

Gasc P., 1983, CEG Poindimié. Glissement de terrain – LBTP Nouméa.

Geocal, 1989, Zonage et aptitudes des terrains à l'aménagement de Poindimié, Rapport N° 89/11.

Guillon J.H., 1975, Les massifs péridotitiques de Nouvelle-Calédonie; Type d'appareil ultrabasique stratiforme de chaîne récente. Mémoire ORSTOM. 76.

Guy B., Moutte J., Lajoinie J.P., Vogt J., 1977, Évolution de la cartographie des formations superficielles des massifs de péridotite de Nouvelle-Calédonie, Bulletin du BRGM, (deuxième série), section IV, N° 1-1977, pp. 37-42.

Guyomar O, 1997, Cartographie des formations géologiques superficielles et de l'aléa mouvements de terrains sous climat tropical : La région de Robinson (NE de Nouméa), Nouvelle-Calédonie. Rapport de stage, DESS Géologie de l'aménagement. Service des Mines et de l'Énergie, Nouméa.

Humbert M., Maurizot P., 1989, Cartes au 1 / 25 000^{ème} de zonage et hiérarchisation des risques liés à des mouvements de terrains : 1) dans le Grand Nouméa (Mont-Dore, Dumbéa, Païta). 3 cartes; 2) à Poindimié, 1 carte.). Rapport BRGM.

Improta L., Lagier M., 1991, La Nouvelle-Calédonie : un paysage et une société marqués par le nickel. Les problèmes écologiques, prévention et luttés. Mémoire de Maîtrise, Université d'Aix-Marseille, Institut de géographie.

Laganier R., 1994, Contribution à l'étude des processus d'érosion et des risques naturels dans les îles du Sud Ouest Pacifique (Nouvelle-Calédonie et Iles Salomon), Thèse Doctorat d'Université.

LCPC, Caractérisation et cartographie de l'aléa dû au mouvement de terrain; Collection environnement; Les risques naturels, CFGI, LCPC, Ministère de l'Environnement. ISSSn 1151 – 1516.

Leguere J., 1989, Zonage et hiérarchisation des risques liés à des mouvements de terrain. Partie 2, Rapport Geocal n° 89/11 : Zonage et aptitude des terrains à l'aménagement de Poindimié (in rapport BRGM n° 39190 GEG 4S 89).

Le Berre P., Maurizot P., 1991, Inventaire des roches et minéraux industriels de la Province Nord (Nouvelle-Calédonie). Recherche de gisements de roches ornementales, argiles à briques, gypse et calcaire pour amendement. Rapport BRGM n° 34 457.

Léone F., Concept de vulnérabilité appliqué à l'évaluation des risques générés par les mouvements de terrain. Documents BRGM n° 250.

Louat R., Baldassari C., 1989, Chronologie des séismes et des tsunamis ressentis dans la région du Vanuatu - Nouvelle-Calédonie (1729 - 1989), Rapports Scientifiques et Techniques ORSTOM, Centre de Nouméa, Sciences de la Terre, Géophysique, N° 1, 48 p.

Maurizot P., Gasc P., 1986, Carte géologique (au 1 / 25 000^{ème}) et d'aptitude à l'aménagement (au 1 / 25 000^{ème}) de la zone urbaine de Nouméa et notice explicative. 45 p.

Masure Ph., 1994, Grands glissements et instabilités de terrain. L'aléa et les risques qu'il engendre. Projet de texte synthétique, Groupe RESPOM, sous-groupe Glissements de terrains et volcans, 8 p.

Maurizot P., 1990, Commune du Mont Dore, Mouvements de terrain du 27/02/90, Rapport provisoire des études de phase 1 après cartographie géologique au 1 / 10 000 et campagne de sondages électriques. Rapport BRGM TA/514/90.

Maurizot P., Delfau M., 1995, Cartographie de la sensibilité à l'érosion, Province Sud de Nouvelle-Calédonie, Rap. BRGM R. 38660, Nombreuses cartes.

Maurizot P., Lafoy Y., 1998, Field mapping of superficial deposits for environmental development and geological hazards mitigation in New Caledonia, Abstract of papers presented at the STAR Session, SOPAC (South Pacific Applied Geoscience Commission) miscellaneous report 300, 27th SOPAC, pp. 26-27, Session. Suva, Fiji.

Maurizot P., Lafoy Y., 1998, Cartographie des aléas naturels (Mouvements de terrain, érosion) dans le Territoire de Nouvelle-Calédonie, Zone de Dumbéa – Païta, Rapport BRGM N° 40 403.

Maurizot P., Lafoy Y., 1998, Cartographie des aléas naturels (Mouvements de terrain, érosion) dans le Territoire de Nouvelle-Calédonie, Zone de Pouembout, Rapport BRGM N° 40 404.

Maurizot P., Lafoy Y., 1999, Cartographie des aléas naturels (Mouvements de terrain, érosion) dans le Territoire de Nouvelle-Calédonie, Zone de Koné, Rapport BRGM N° 40 775.

Maurizot P., Lafoy Y., 1999, Cartographie des aléas naturels (Mouvements de terrain, érosion) dans le Territoire de Nouvelle-Calédonie, Zone de Tontouta, Rapport BRGM N° 40 776.

Maurizot P., 2000, Cartographie détaillée (1 / 10 000) des aléas mouvements de terrain de la vallée des Koghis (Commune de Dumbéa). Rapp. BRGM / RC – 50 407 – FR

Maurizot P., Lafoy Y., 2001, Cartographie des formations superficielles et des aléas mouvements de terrain en Nouvelle-Calédonie, Zone de Touho-Poindimié, Rapport BRGM N° 50 846.

Maurizot P., Lafoy Y., 2001, Cartographie des formations superficielles et des aléas mouvements de terrain en Nouvelle-Calédonie, Zone de Thio, Rapport BRGM N° 50 845.

Maurizot P., Lafoy Y., Poupée M., 2002, Cartographie des formations superficielles et des aléas mouvements de terrain en Nouvelle-Calédonie, Zone de Goro, Rapport BRGM N° 51 623.

Maurizot P., Lafoy Y., Poupée M., 2002, Cartographie des formations superficielles et des aléas mouvements de terrain en Nouvelle-Calédonie, Zone de Koniambo, Rapport BRGM N° 51 624.

Meunier M. , 1990, Commission de réhabilitation de la région de Thio. Étude des transports solides torrentiels (creek Jeanne et Marie, creek Kouangoué, rivière Nakalé), CEMAGREF.

Meunier M., 1990, Commission de réhabilitation de la région de Thio. Compte-rendu de mission, Analyse de la torrentialité du creek Jeanne et Marie et des aménagements au niveau de la RT4, CEMAGREF.

Meunier M., 1994, Les progrès de la connaissance et les méthodes d'étude des phénomènes torrentiels. La Houille Blanche, N° 3, pp. 25-31.

Ministère de l'Aménagement du territoire et de l'Environnement, laboratoire central des Ponts et Chaussées, février 1999, L'utilisation de la photo-interprétation dans l'établissement des plans de prévention des risques liés aux mouvements de terrain, collection Environnement: les risques naturels, édition du laboratoire central des Ponts et Chaussées, 128 p.

Ministère de l'Aménagement du territoire et de l'Environnement, ministère de l'Équipement, du Logement et des Transports, 1997, Plans de prévention des risques naturels prévisibles : guide général, La Documentation française, 76 pages.

Ministère de l'Environnement, 1987, Plans d'exposition aux risques : mesures de prévention - mouvements de terrain, La Documentation française, 529 pages.

Ministère de l'Équipement des Transports et du Tourisme, ministère de l'Environnement, 1997, Fonds de plan - études d'aménagement et de prévention des risques, éditions Villes et Territoires, 64 pages.

Paris J.P., 1981, Géologie de la Nouvelle-Calédonie, une essai de synthèse. Mémoire BRGM, N° 113, 279 p.

Perinet F., 1989, Protection contre les risques naturels et lutte contre l'érosion à Thio. Aménagement du versant nord du Ningua et des rivières Nakale et Kouangoue, Territoire de Nouvelle-Calédonie, Direction de l'Economie Rurale.

Picard M., 1999, L'archipel néo-calédonien, 300 millions d'années pour assembler les pièces d'un puzzle géologique, Centre de Documentation Pédagogique de Nouvelle-Calédonie.

Prinzhofer A., 1981, Structure et pétrologie d'un cortège ophiolitique : le massif du Sud de Nouvelle-Calédonie. Thèse Ing. Doct. ENSM. Paris.

Rezig S., 1998, Modélisation probabiliste de l'aléa mouvement de terrain, Développement d'une méthode quantitative pour l'aide à l'expertise; Thèse Ecole Centrale de Paris, CNRS.

Riondy G., 1990, Études géologique et géotechnique préliminaire de trois zones affectées par des mouvements de terrains, Rapport BRGM n° 30690 GEG 4S 90.

Savage S.B., 1984, The mechanics of rapid granular flows, Adv. Appl. Mech., 24: 289-366.

SEFP, 1996, Propriété de la SC Koghis deer farm et de la SARL immobilière des monts Koghis. Étude des vocations d'aménagements possibles. Phase d'investigations générales, Rapport préliminaire avec notice d'impact. Territoire de Nouvelle-Calédonie, Province Sud, Commune de Dumbéa.

Takahashi T., 1991, Debris flow, IAHR monograph series, Balkema, Rotterdam.

Trescases J.J., 1975, L'évolution géochimique supergène des roches ultrabasiques en zone tropicale; Formation des gisements nickélifères de Nouvelle-Calédonie. Mémoire ORSTOM 78.

Van Damme H., 1991, (Centre d'étude de la matière divisée), E. Lemaire et P. Levitz, La physique de la boue, Pour la Science, septembre.

BRGM
Service Géologique Régional
Nouvelle-Calédonie
BP 6009 – 45090 Orléans cedex 2 – France – Tél. : 33 (0)2 38 64 34 34