



Territoire de
Nouvelle-Calédonie



Cartographie des formations superficielles et des aléas mouvements de terrain en NOUVELLE – CALEDONIE - Massif du Mont-Dore

Etude complémentaire pour la prise en compte des risques naturels
dans le Plan d'Urbanisme Directeur de la commune du Mont-Dore



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



Mots clés : Mont-Dore, aléas naturels, risques naturels, Plan de Prévention des Risques, mouvements de terrain, érosion, Nouvelle-Calédonie, latérites, péridotites.

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

Maurizot P. (2001) – Cartographie des formations superficielles et des aléas mouvements de terrain et érosion en Nouvelle-Calédonie, Massif du Mont-Dore, Etude complémentaire pour la prise en compte des risques naturels dans le Plan d'Urbanisme Directeur de la commune du Mont-Dore, Rap. BRGM RP- 50725-FR.

©BRGM, 2001, ce document ne peut être reproduit en totalité ou en partie sans l'autorisation expresse du BRGM.

Sommaire

1 - Introduction

2 – Méthodologie et limite de l'étude

3 – Géologie du substrat et des formations superficielles

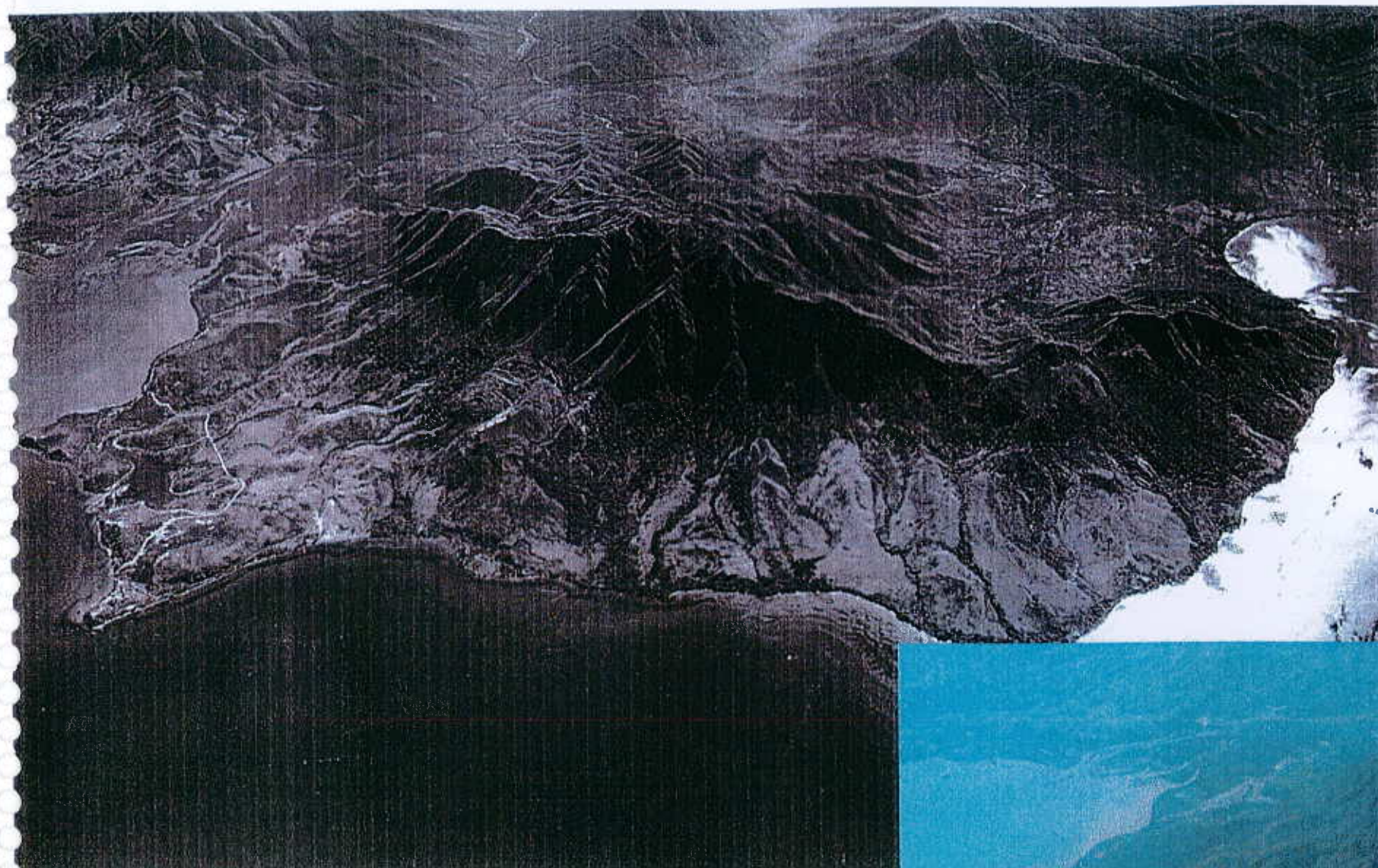
4 – Carte informative des phénomènes et analyse des désordres connus

- 4.1 – Les mouvements de terrain des lotissements Mille, Berton et l'Aiguade (1988 - 1990)**
- 4.2 – Paquets glissés, lavakas, coulées de débris et ravinement dans le "massif minier"**
- 4.3 – Analyse rétrospective de l'évolution des désordres par photographies aériennes**
- 4.4 – Désordres périphériques aux anciens travaux miniers**
- 4.5 – Phénomènes anciens de grande ampleur**
- 4.6 – Désordres dans le substrat volcano-sédimentaire**

5 – Carte des aléas

Références bibliographiques

Annexe 1 : Carte d'aléas à l'échelle du 1 / 10 000



Photographie US Army, 1942

La perception de la notion de risque est particulièrement bien mise en évidence par la comparaison de ces deux clichés pris à 58 ans d'intervalle. Le Mont-Dore est pratiquement inhabité à l'époque de la guerre du Pacifique. Les aléas naturels y sont cependant présents et un oeil exercé peut reconnaître les signes caractéristiques de mouvements de terrain au niveau de la mine Dédé, en activité en ce temps là. Aujourd'hui, le tissu urbain s'est considérablement développé et les enjeux, biens et personnes, se sont fortement accrus. Toutes les conditions du risque sont réunies.

**Fig. 2 - La presqu'île du Mont-Dore
vue d'avion en 1942 et en 2000**



Photographie GéoEx, M. Bailleau, 07 / 2000

1 - Introduction

Le pourtour du massif du Mont Dore et surtout sa façade maritime, sont l'objet d'une urbanisation croissante. Cette commune proche de Nouméa, a connu un développement important durant ces quinze dernières années. L'habitat qui était essentiellement représenté par des constructions légères, s'est étoffé progressivement par des infrastructures plus importantes (bâtiments publics, zones d'activités industrielles, commerces). Les conditions naturelles offertes par ce secteur ne sont pas cependant faciles au plan de l'aménagement et l'espace urbanisable, disponible entre le massif montagneux et le rivage, n'est pas extensible indéfiniment. La pression d'urbanisation s'accroissant, les zones loties se rapprochent progressivement des reliefs.

La pente moyenne du massif de péridotite du Mont Dore, dominant le paysage, culminant à 800 m d'altitude, est de 30 %. Le front du massif, face à la mer, présente quant à lui une pente impressionnante de 50 %. De nombreuses exploitations de nickel abandonnées parsèment les terrains miniers. Un effort constant pour réhabiliter ces zones par réaménagement et reverdissement a été engagé par divers organismes, mais le domaine à traiter est vaste.

La sensibilité du massif aux mouvements de terrain est apparue brusquement aux yeux des autorités publiques et des habitants de la commune, le 12 janvier 1988, lors du passage du cyclone "Anne". Les précipitations abondantes qui eurent lieu à cette occasion (158 mm / 24 h) déclenchèrent des mouvements de terrain d'une ampleur inattendue au droit des lotissements Milles et Berton. 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. 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

d'instabilité à l'aplomb des lotissements (chapitre 4.1, figure 8 et 9). 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 / 24h), à 500 mètres à l'est de la zone sinistrée en 1988, sur le



Fig. 1 – Massif du Mont-Dore vu depuis l'Est

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

lotissement de l'Aiguade, plusieurs glissements de matériaux latéritiques et rocheux survinrent. La langue principale de glissement s'arrêta dans un bouquet de végétation, dans des espaces non construits ou des jardins. Le coût global des

travaux de confortement et de mise en sécurité de ces deux zones avoisina 150 millions de F XFP.

Sensibilisé par ces événements répétés, le Territoire finança une étude régionale de "Zonage et hiérarchisation des risques liés à des mouvements de terrain" (Humbert et al., 1989), sur le grand Nouméa (communes du Mont-Dore, Dumbéa, Païta, Nouméa). Mais à l'échelle du 1 / 25 000, cette dernière ne permettait pas une bonne adéquation avec les Plans d'Urbanisme Directeur en cours d'instruction sur ces communes. En outre, il faut bien constater que le manque de recul et de réflexion à cette époque sur tous ces phénomènes nouveaux pour les aménageurs, ainsi que la priorité accordée dans l'urgence aux travaux de protection, n'ont pas débouché sur une prise en charge globale du risque naturel.

A partir de 1998, a été entrepris un programme systématique de "cartographie des aléas naturels", financé par le Territoire et l'Etat, et réalisé conjointement par le Bureau de Recherches Géologiques et Minières et le Service des Mines et de l'Energie. Il était logique que la commune du Mont-Dore bénéficie de ces travaux au moment où son Plan d'Urbanisme Directeur arrivait dans sa phase finale.

La présente étude consiste donc à préciser à l'échelle du 1 / 10 000 quels sont les contours des différentes zones soumises à des aléas du type mouvements de terrain et avec quelle intensité, afin de permettre leur classement "in fine" dans le PUD. Après avoir examiné les données géologiques de base, dans une finalité appliquée à la compréhension des phénomènes de mouvements de terrain, puis recensé les différents types de désordres observés dans leur contexte géologique, nous nous attacherons à expliciter la démarche qui nous permet par extrapolation d'établir un zonage des différents aléas.

2 - Méthodologie et limite de l'étude

2.1. – Notion de risque et d'aléa

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 documents édités par les Ministères concernés (Aménagement et Equipement) et le vocabulaire ainsi défini est désormais employé couramment dans les procédures des Plans de Prévention des Risques métropolitains. Il n'est pas inutile d'en faire un bref rappel.

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**.

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

L'**Aléa naturel** représente donc le phénomène (par exemple tel type de glissement de terrain) et c'est la présence d'enjeux (biens ou personnes) qui crée les conditions du risque. Selon une telle équation, un aléa très important en plein désert entraîne un risque nul.

La **vulnérabilité V** est un facteur complexe qui peut se décomposer en termes socio-économiques, de valeurs des biens, de perception par les populations, voire d'impact médiatique et de gestion de la crise.

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. Le **risque relève du domaine de l'aménageur**, du décideur et en fin de compte du politique.

L'aléa est lui même défini comme la **probabilité d'occurrence d'un phénomène**. On définit 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 statistique est encore plus pesant dans le cas des mouvements de terrain. Aucun phénomène ne ressemblera au précédent. De même dans le cas des inondations, la modélisation du phénomène est relativement plus facile, alors que dans le cas des mouvements de terrain et selon le type concerné, une beaucoup plus grande incertitude existe.

Les aléas résultent du concours de plusieurs types de **facteurs**. 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 **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.

2.2 – Les documents

Le facteur intrinsèque et principal des aléas concernés par cette étude est de nature géologique. Une **analyse géologique détaillée** du site sera donc présentée dans un premier temps. Elle met l'accent sur la **géologie des formations superficielles et d'altération**, siège de tous les phénomènes d'instabilité.

Il est indispensable dans toute étude de risque de réaliser un état des lieux des phénomènes dans la zone considérée, à la fois par des observations de terrain, par une enquête, par la compilation d'archives, d'études et de cartes déjà réalisées, de photographies aériennes... Un tel inventaire des zones de désordres débouche sur un document cartographique qualifié de "**carte informative des phénomènes**".

L'analyse de ces données sert dans un deuxième temps à établir une "**carte des aléas**", qui est un document prospectif prenant en compte les phénomènes prévisibles, potentiels, et pas

seulement ceux qui sont visibles. 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.

Cette cartographie permettra "in fine" de classer les différents terrains dans le **zonage réglementaire du PUD**. 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.

La transformation de la **carte des aléas en carte de zonage réglementaire** n'est donc 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 la quelle 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 ?

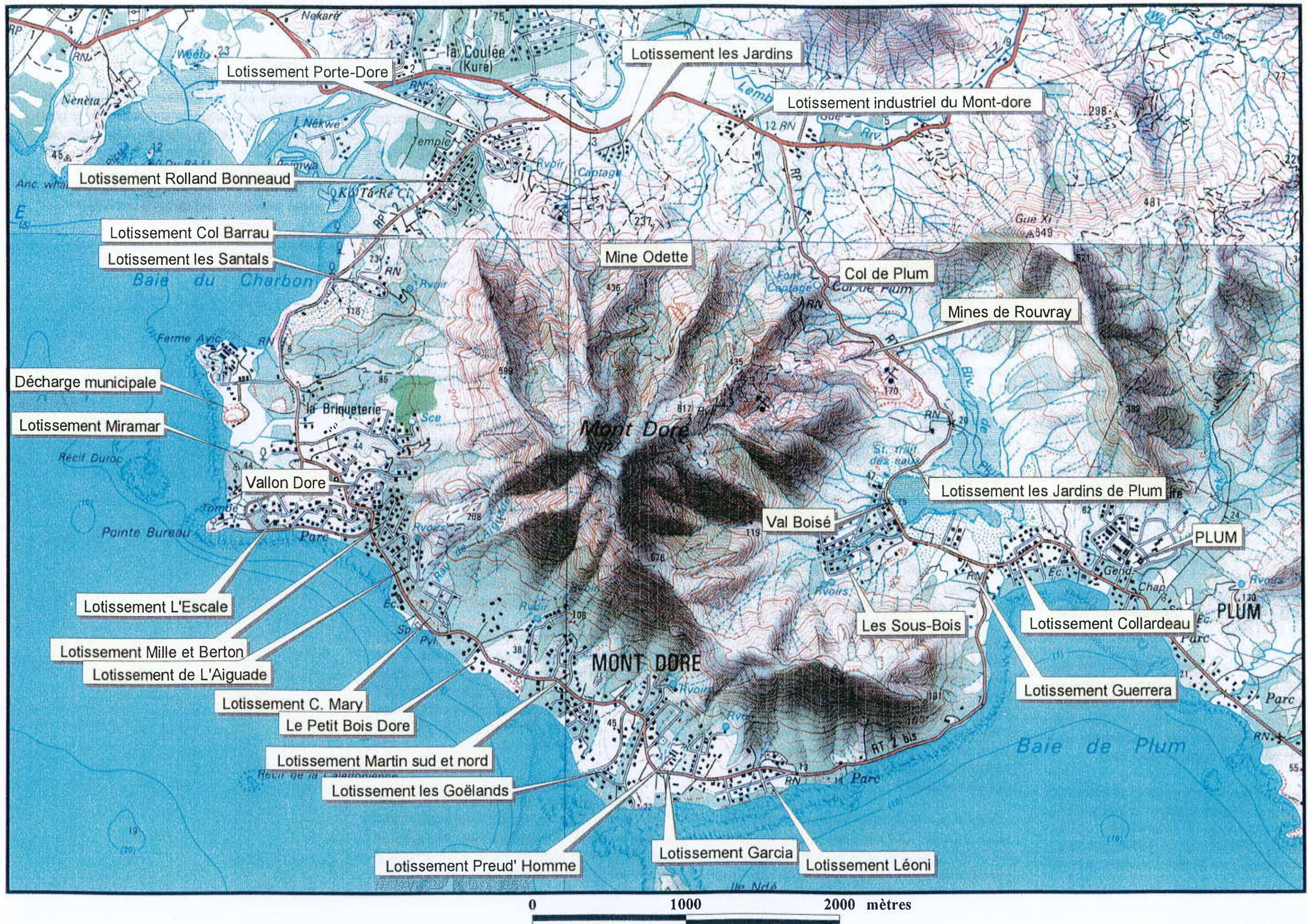
C'est selon cette procédure que sont établies les cartes de zonage des Plans de Prévention des Risques assorties d'un règlement, en Métropole. Nous nous proposons, bien que ce dispositif réglementaire ne soit pas encore mis en place en Nouvelle-Calédonie, de calquer notre démarche sur une telle procédure.

2.3 – Limite de l'étude

Cette étude prend en compte l'aléa "mouvement de terrain". L'aléa "inondation torrentielle" dans la partie basse des vallées, qui est toujours possible dans le contexte de la zone d'étude à l'occasion de fortes précipitations n'est pas pris

pleinement en compte. Tout au plus pouvons nous attirer l'attention sur ce phénomène lorsque des secteurs sont particulièrement exposés. 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 DER).

Fig. 3 - Toponymie et localisation des principaux sites de la périphérie du massif du Mont-Dore



3 – Géologie du substrat et des formations superficielles

La carte géologique du secteur étudié est présentée en figure 4. Dans cette description géologique, nous mettrons l'accent sur la qualité géotechnique et géomécanique des formations et notamment de leurs produits d'altération superficielle. Nous distinguerons deux types d'environnements géologiques fondamentalement différents afin de bien séparer les aléas mouvements de terrains qui leur sont propres :

- les formations sédimentaires du substrat communément appelées "schistes",
- les formations des massifs de péridotites, communément appelés "massifs miniers", qui dominent les précédentes.

A cela viennent s'ajouter les formations récentes alluviales et colluviales où l'aléa inondation, qui n'est pas traité dans cette étude, prévaut.

3.1 - Formations du substrat sédimentaire

On distingue deux unités :

- **un ensemble sédimentaire d'argilites** à passées charbonneuses et tufs acides du Crétacé supérieur,
- **un ensemble volcanique de basaltes** appartenant à la formation de la nappe de Poya qui surmonte tectoniquement les précédents.

L'ensemble d'argilites est intercalé de niveaux métriques de charbon dans lesquels des disharmonies de plissements sont fréquentes, de silts, de grès, de grès tuffacés de composition acides, de tufs trachytiques et de conglomérats. Ce thème lithologique constitue le fond sédimentaire de la série. Les argilites, improprement qualifiées de "schistes" (la schistosité ne s'y développe que localement), contiennent des nodules calcaires ou pyriteux. Un seul niveau de lave trachytique massive a été trouvé au niveau du lotissement Bellevue, sur le

littoral face à l'îlot Charron. Ces niveaux de laves se développent plus largement à l'Ouest vers Nouméa.

L'altération des argilites, sur une épaisseur de un à quelques mètres, est fréquente. Elle se caractérise par le développement d'un profil de couleur rosée à rouge, enrichi en argile (kaolinite, métahalloysite, smectite) et en fer (sol fersialitique des pédologues). Ce profil "in situ" incorpore des éléments résiduels ou allochtones détritiques caillouteux, notamment dans sa partie supérieure. Ces horizons argileux de surface sont infertiles et offrent un paysage de savane à niaoulis, jonchés de cailloutis résiduels.

Les basaltes forment une bande développée au pied du talus du massif du Mont-Dore. Ils sont interprétés comme une écaille entraînée à la base du plan de chevauchement de la nappe des péridotites (Cluzel, 1994). Ils forment un ensemble indistinct où les intercalations sédimentaires sont mineures et réduites à quelques niveaux d'argilites et de cherts ferromangnésifères de couleur pourpre.

Très fracturés et écaillés de par leur situation structurale infra nappe, ils présentent une altération pénétrante importante et déterminent des pentes douces. Ils sont recouverts par un manteau argileux ferralitique de couleur rouge carmin caractéristique.

Argilites crétacées et basaltes sont fréquemment altérés. Ce phénomène s'étend sur de grandes surfaces à l'Est du massif dans le secteur de Val-Boisé et des Jardins de Plum et de manière plus discrète, au Sud du massif, tout le long du littoral, à l'état de petites taches dissociées. Une attention particulière a été portée à ces altérites qui, de par leur composition argileuse, imperméable et leur mauvaise qualité géotechnique, sont souvent la source d'instabilités (Lotissement des Jardins de Plum et Lotissement du Santal). Il est malheureusement très difficile de cerner ces ensembles avec

précision, leur bonne cartographie dépendant de la qualité des affleurements disponibles.

L'altération coïncide la plupart du temps avec un modelé morphologique adouci et avec des dépôts d'épandages de gravillons latéritiques, de latérite remaniée et de nombreux blocs de silice. Au NE du massif, la couverture altéritique est relativement continue et les surfaces concernées se raccordent avec les altérites du massif minier. Au SW, sur la façade maritime abrupte, on trouve des "flaques" isolées et souvent perchées entre les altitudes 50 à 100 mètres (col Barrau, lotissement du Santal, Vallon-Dore, lotissement Preud'Homme). L'association entre l'altération profonde des schistes du substrat et ces anciens épandages est bien visible dans l'ancienne carrière située à 500 mètres au Sud de col Barrau, en bordure de la RP2.

Ces lambeaux et les altérites connexes, peuvent être interprétés comme les restes d'une paléo-surface, aujourd'hui démantelée. Leurs répartitions dissymétriques, en ensembles relativement continus au NE, et en lambeaux démantelés et perchés au SW, qui va de pair avec la morphologie du massif du Mont-Dore (pente relativement faible vers le NE et façade SW abrupte), indiquent un mouvement de bascule récent du secteur.

3.2 - Formations du "massif minier"

Le massif du Mont-Dore est une klippe isolée du Massif du Sud reposant sur le substrat sédimentaire par l'intermédiaire d'une lame de serpentine épaisse vers le Nord, plus discrète vers le Sud. Le massif montre une dissymétrie morphologique importante avec un abrupt à regard SW de près de 800 mètres de haut, face à la mer, et des pentes plus modérées et plus étagées vers le NE.

L'ossature du massif est constituée par des péridotites recouvertes par leur cortège de roches altéritiques, abondantes surtout sur le

flanc NE. On peut distinguer les formations ultrabasiques primaires et leurs formations d'altération et de remaniement.

3.2.1 – Les formations ultrabasiques

Les serpentinites représentant la semelle de charriage, à la base des péridotites, sont peu représentées au Sud, mais affleurent largement dans tout le secteur compris entre le Col de Plum et le centre commercial des Portes Dore. Elles constituent, avec les formations du substrat sédimentaire, un horizon imperméable au niveau duquel l'eau contenue dans le massif minier, véritable réservoir perché, est contrainte de resurgir. C'est ainsi que peuvent s'expliquer les sources du col de Plum et de nombreuses autres venues d'eau, moins importantes mais pouvant occasionner de sérieux problèmes géotechniques, surtout lorsque les terrains sédimentaires sous-jacents sont altérés en argile.

Dans le secteur du lotissement des Portes Dore et des Jardins des Belep, la serpentine est envahie par un réseau de silice avec parfois présence de sulfures. Ces faciès particuliers, qualifiés de **listvénites**, forment des petits reliefs encombrés de gros rochers caverneux où l'altération a dissout la roche mère ne laissant que les cloisons siliceuses. Génétiquement ces listvénites sont à rattacher au cortège filonien périphérique du granite de Saint-Louis.

Les péridotites qui constituent l'ossature du "massif minier" du Mont-Dore sont essentiellement constituées par des harzburgites présentant un degré de serpentinisation et de fracturation très variable. Elles sont presque constamment recouvertes par une couverture latéritique résultant de leur altération.

Les péridotites sont affectées par de nombreuses cassures, fractures, failles et diaclases, qui les débitent en blocs. Les failles représentées sur la carte géologique (figure 4), ne sont que la

représentation synthétique des discontinuités les plus importantes.

3.2.2 – Les formations d'altération in situ

On peut distinguer :

- **Les latérites épaisses** qui englobent des ensembles à profils bien différenciés où l'épaisseur avoisine 10 m. Elles correspondent généralement à des morphologies convexes à pente faible (replats) ou à de larges dômes (plateaux). L'érosion s'y manifeste par l'ouverture d'incisions, ou lavakas, sièges d'une érosion régressive. La densité de végétation est généralement faible sur ces zones où peu de plantes arrivent à se fixer.

- **Les latérites minces**, à squelette rocheux souvent apparent et à horizons saprolitiques sous-jacents, qui se situent plutôt dans les zones de versants. L'épaisseur des terres y est inférieure à 5 m, irrégulière à très irrégulière. Les profils sont souvent incomplets, réduits parfois à une couche discontinue de terre rouge à gravillons. Des indices de remaniement, de sédimentation, sont fréquents (blocs, niveaux de grenaille). La morphologie est également convexe, mais la pente plus soutenue. L'érosion s'y manifeste dans les zones de plus forte pente par des arrachements correspondant au départ de plaques de latérites accompagnées de blocs du substrat péridotitique plus ou moins saprolitique.

- Les latérites épaisses sont souvent surmontées par des **amoncellements de blocs de cuirasse** et des amas de pisolithes ferrugineux.

- Localement à la base du massif et de préférence sur substrat serpentineux on trouve des zones de latérites à la couleur moutarde, riches en argiles nontronitiques. Ces argiles gonflantes ayant une forte rétention en eau, sont souvent recouvertes d'une végétation hydromorphe caractéristique. Elles sont le siège de glissement de terrain.

3.2.3 – Les formations 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.

De très nombreuses langues de **coulées de laves torrentielles** sont présentes sur toute la périphérie du massif du Mont-Dore, particulièrement sur sa face sud, la plus abrupte. Le matériau est constitué de latérites remaniées, riches en gravillons et pisolithes, au sein duquel flottent des blocs de péridotites isolés ou en amas. On peut distinguer différentes générations, avec des coulées anciennes, plus riches en blocs de silice, latéritisées à leur surface, voire incorporées dans des profils latéritiques, et des coulées très récentes mises en place pendant la période historique, comme celle des lotissements Milles et Berton. Entre ces deux extrêmes, toute une série de coulées indifférenciées plus ou moins riches en blocs de péridotites viennent encombrer les flancs et remplir les vallées du massif.

L'ensemble forme un complexe de coulées boueuses à blocs de péridotites ou "laves torrentielles". L'ancienneté et la pérennité de ces formations attestent de la permanence du phénomène.

Sur le flanc NE du massif, à la périphérie de Val-Boisé, on relève une étendue assez importante d'**épandages de produits fins latéritiques**, essentiellement des gravillons et pisolithes ferrugineux, emballés dans une matrice de terre latéritique remaniée. Ces zones correspondent à des glacis en pente douce dont la plupart se raccordent, à l'amont aux profils latéritiques recouvrant les reliefs du massif minier, à l'aval aux zones d'altérations argileuses développées sur le substrat-volcanosédimentaire.

3.3 - Formations alluviales et colluviales

Il s'agit essentiellement des alluvions du bassin de la Coulée au Nord et de la rivière de Plum à l'Est. Au débouché des principaux bassins versants, les cônes de déjection torrentiels ont été individualisés.

Les colluvions sont parfois représentées dans les zones de raccord entre les alluvions et le bas des pentes, sur substrat sédimentaire schisteux crétacé ou basaltique, par des argiles noires.

3.4 – Aperçu sur la géomorphologie et la tectonique récente

Une analyse des éléments géomorphologiques et néotectoniques est intéressante dans une étude de risque, car elle décrit des objets géologiques (formation d'altération et superficielles, failles et fractures récentes) fortement impliqués dans le contrôle des mouvements de terrains. On se propose donc dans ce paragraphe de synthétiser les éléments passés en revue dans l'analyse géologique précédente et concernant cet aspect. Nous avons tenté de distinguer sur la carte géologique en figure 4, tous ces éléments géomorphologiques et néotectoniques perceptibles dans la zone d'étude.

Comme dans bien des endroits du massif du Sud, le massif du Mont-Dore montre une dissymétrie morphologique flagrante avec une façade maritime SW abrupte (50 % en moyenne avec un dénivelé maximum de 800 mètres) et une face NE en pente plus douce qui bien que découpée par de profondes vallées montre de nombreuses reliques de replats latéritisés. Ce façonnage différentiel s'est produit dans des périodes géologiques relativement récentes (fin Tertiaire à Quaternaire) et traduit un basculement vers le NE d'un ensemble de blocs dont la géométrie et la dimension restent encore à préciser. Le massif du Mont-Dore en est un bon représentant. Ces rejeux s'inscrivent dans les mouvements positifs d'émersion générale et de fabrication de la marge du bâti néo-calédonien.

Les formations géologiques structurées pendant les périodes précédentes ont accommodé diversement ces mouvements. Les péridotites en particulier, média particulièrement cassant, ont déployé un jeu de fracturation complexe. Dans l'ensemble, toutes les formations ont développé un champ de fractures qui ne se superpose pas forcément aux discontinuités antérieures. En particulier les signatures de la tectonique "souple" qui a prévalu lors de la mise en place des différentes nappes (nappe des basaltes de Poya, nappe des péridotites) sont recoupées. Cette néotectonique est essentiellement distensive. D'origine récente elle se devine dans le paysage plus qu'elle ne se voit en affleurement et se traduit par des ruptures morphologiques : talus ou glacis coupés, vallées détournées, capturées et guidées, crêtes interrompues, surfaces et replats décrochés. L'examen du modèle numérique de terrain est très révélateur à ce sujet.

Fig. 4 - Carte géologique

échelle: 1/25 000

Formations anthropiques

■ Décharge

Formations alluviales et littorale

■ Mangrove

■ Marais

■ Alluvions récentes

■ Cônes de déjection torrentiels

■ Colluvions

Formations des massifs de péridotites

Altérites remaniées

■ dominante latéritique

■ dominante péridotitique

■ Epandages anciens latéritique à blocs de silice

■ Epandages siliceux

Altérites in situ

■ Agglomérat de blocs de cuirasse

■ Latérites minces

■ Latérites épaisses

■ Latérites nontronitiques

Roches ultrabasiqes

■ Amas de blocs de péridotites disloquées

■ Péridotites

■ Serpentes (et linéations)

■ Listvénite

Formations volcano-sédimentair du substrat

Crétacé supérieur

■ Argilites, tufs et faciès à charbon

■ Trachyte

Nappe de Poya

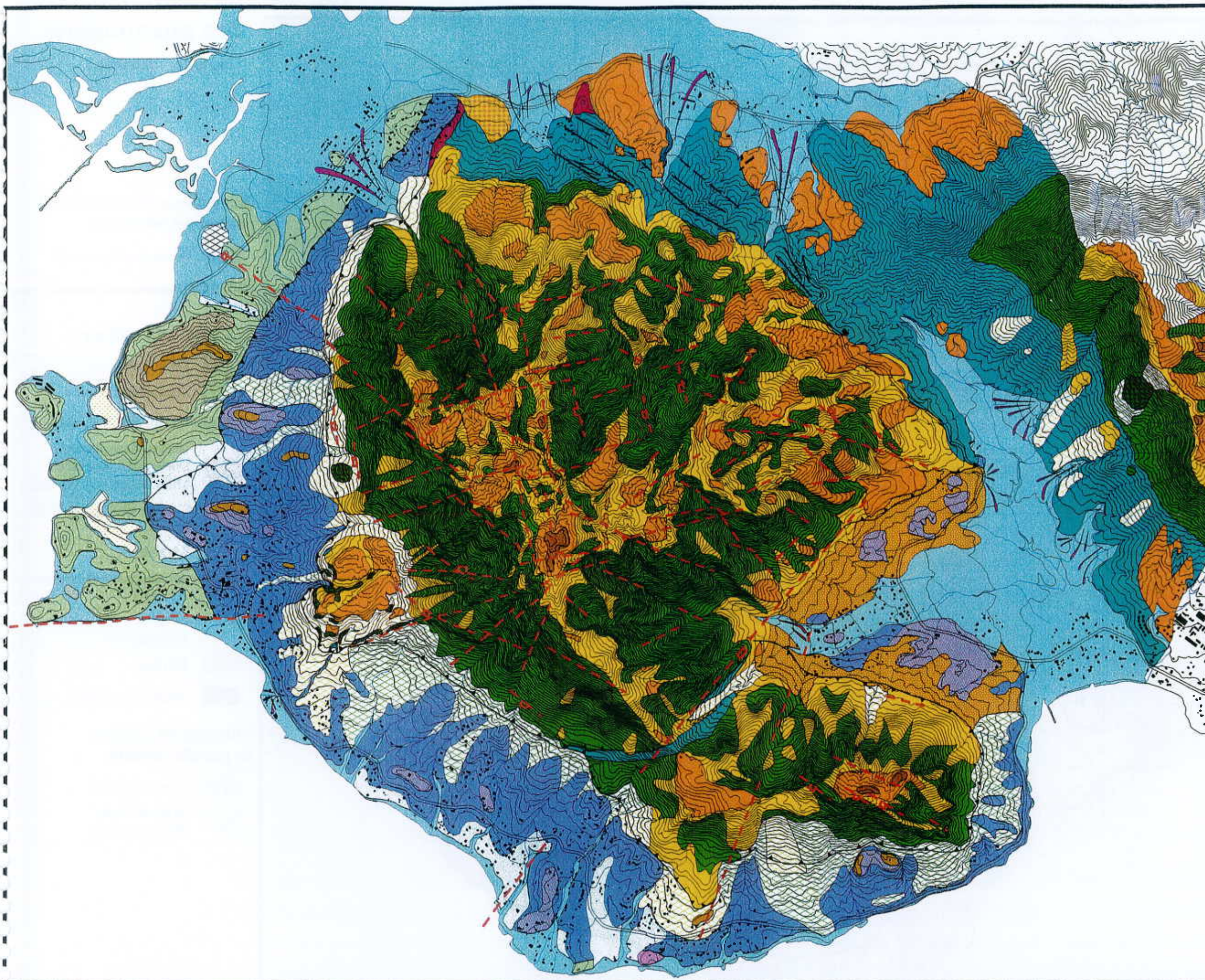
■ Basaltes et sédiments associé

Altérites

■ Altérites sur argilites et basaltes

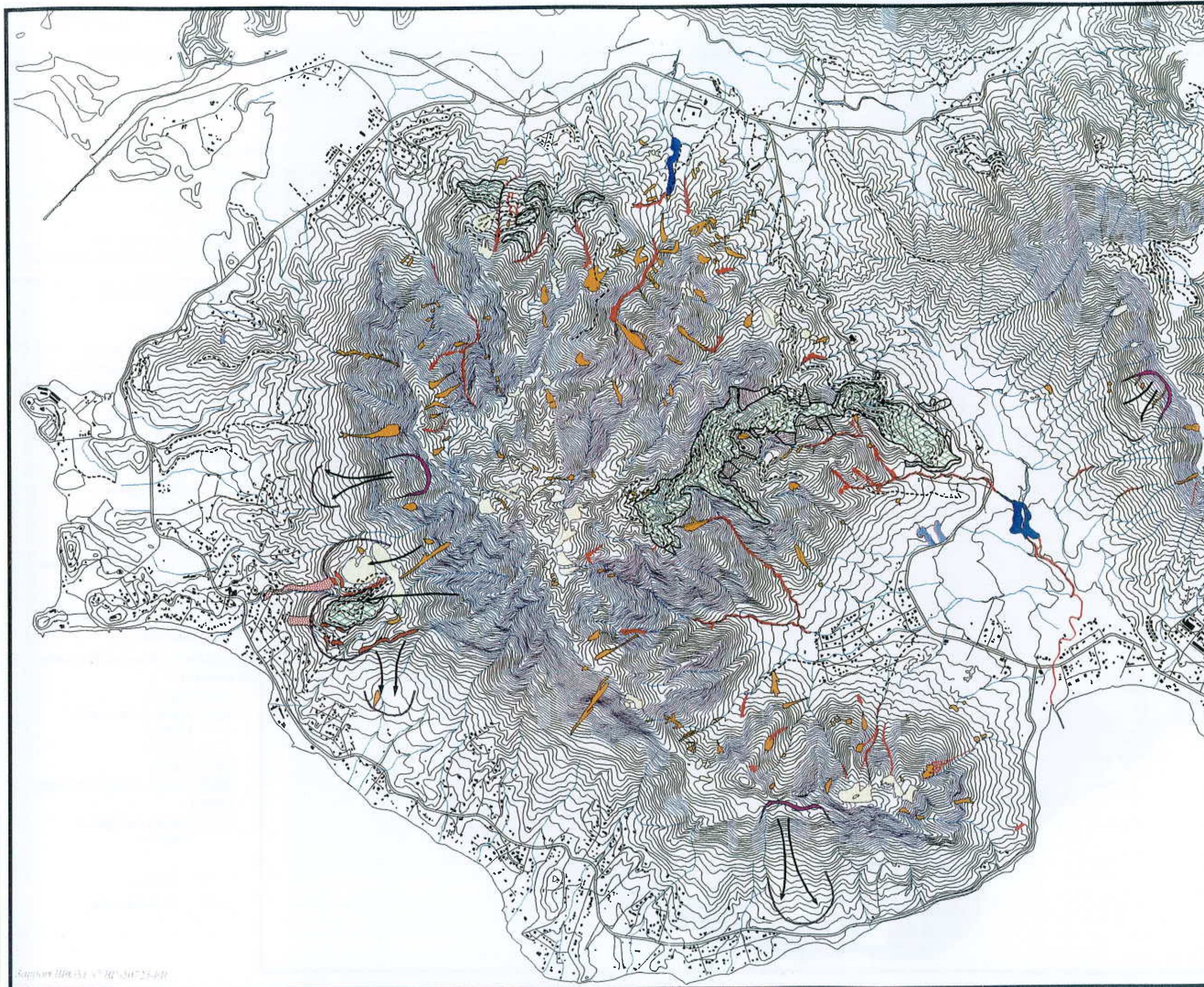
--- Fractures

~ Chevauchement




**Fig. 5 - Carte informative
des phénomènes**

échelle: 1/25 000



**Phénomènes liés au substrat
volcano-sédimentaire**

 Glissements de terrain


**Phénomènes liés au massif
minier**


Origine anthropique

 Déblais miniers

 Zones d'exploitation


Origine non anthropique

 Niches d'arrachement.
Dôme des lotissements
Mille Berton et l'Aiguade


 Coulées de boue de 1988
et 1990

 Lavakas

 Arrachements et coulées
de débris


 Arrachements
revégétalisés

 Ravines

 Zones d'épandages

**Phénomènes anciens
de grande ampleur**

 Zones de départ

 Front de zones
d'atterrissement

4 – Carte informative des phénomènes et analyse des désordres connus

La carte informative des phénomènes est destinée à analyser les différents désordres recensés, pour mieux comprendre leur mécanisme, essayer de suivre leur évolution dans le temps pour mieux approcher leur probabilité d'occurrence, et les replacer dans leur contexte géologique pour évaluer leur répartition potentielle.

Plusieurs types de désordres ont été recensés dans la zone d'étude.

Les plus dangereux d'entre eux trouvent leur origine dans le "massif minier" ou massifs de péridotites. Ces terrains sont en effet en position topographique dominante et de nature fragile car très fracturés et sensibles à l'altération. De nombreux mouvements de terrains prennent naissance sur les pentes abruptes des reliefs qu'ils déterminent. C'est dans ce contexte que se produisent les phénomènes les plus graves pour les zones exposées en contrebas, du fait des dénivellations importantes concernées, engendrant des énergies potentielles importantes (coulées boueuses, laves torrentielles, glissements en masse de grande ampleur, embâcle).

Les désordres recensés dans les formations volcano-sédimentaires du substrat, communément appelées "schistes", sont, en comparaison, de bien moins grandes ampleurs. Il s'agit essentiellement de tassements et glissements de terrain intéressant des couches superficielles et posant souvent des problèmes à plus petite échelle et en terme de géotechnique.

Concernant le "massif minier", nous examinerons dans un premier temps les mouvements de terrains 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. Ces désordres qui consistent en **glissements de terrains et laves torrentielles**, ont induit des coûts de confortements substantiels. 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.

Nous passerons en revue dans un deuxième temps, le cortège des phénomènes les plus communs tels que **paquets glissés, lavakas, coulées de débris et ravinement**, dans le "massif minier".

Un chapitre spécial sera réservé **aux désordres périphériques induits par les anciens travaux miniers** (mine de Rouvray, mine Odette), dont on peut dresser un état des lieux.

Une dernière série de phénomènes concerne des **formes anciennes de très grande ampleur**, encore reconnaissables dans le paysage. S'ils ne sont plus à redouter ces phénomènes "fossiles" sont malgré tout riches en enseignement.

Concernant les formations du substrat sédimentaire nous examinerons plusieurs exemples de **glissements de terrain** aux lotissements des Jardins de Plum et du Santal.

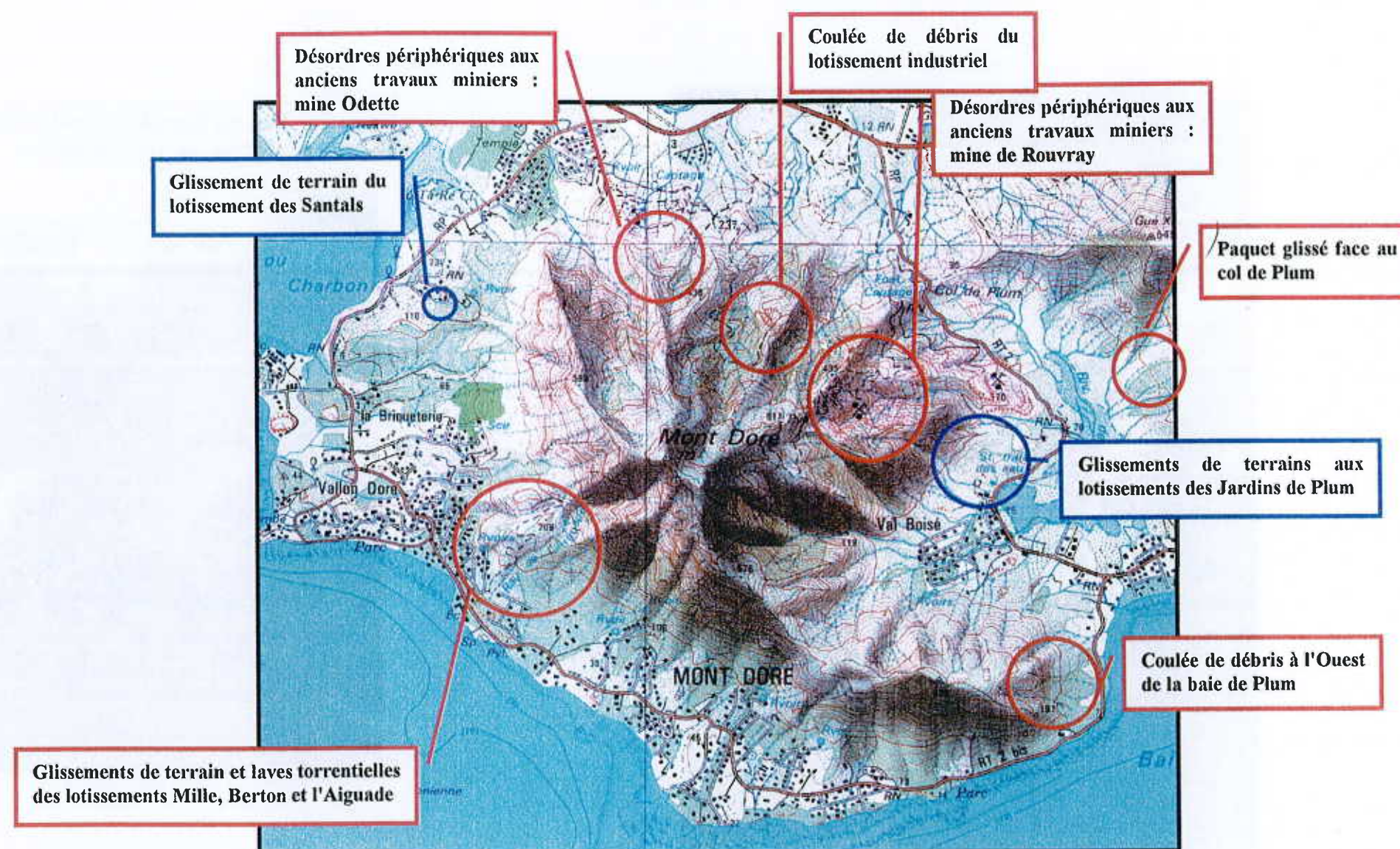


Fig. 6 – Localisation et types de quelques désordres notables recensés dans la zone d'étude :
en bleu, désordres liés au substrat volcano-sédimentaire, en rouge, désordres liés aux "massif minier"

Fig. 7 – Les mouvements de terrain des lotissements Mille et Berton au lendemain du passage du cyclone "Anne" (12 janvier 1988)



Photo 1 – Le front de départ des matériaux au lendemain du 12 janvier 1988. Les affaissements en marches d'escalier de la zone du glissement sont nettement visibles. De nombreuses excavations en forme d'entonnoir se sont ouvertes dans ce front et ont alimenté la coulée de débris qui a rempli le creek de la mine Dédé. Un alignement de sources est visible à la base de la zone instable et continue à alimenter la coulée, alors que le creek de la mine Dédé est déjà sec.

Photo 2 – Vue du bourrelet frontal de la lave torrentielle, mélange de latérite remaniée, de blocs de péridotites, de troncs et racines.



4.1 - Les mouvements de terrain des lotissements Mille, Berton et l'Aiguade (1988 - 1990)

4.1.1 – La succession des événements

Le 12 janvier 1988, lors du passage du cyclone "Anne", un dôme de péridotite situé au pied du grand massif 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 7). 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 8 et 9). 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. Un deuxième série de travaux de confortement fut entreprise. La mise en sécurité du secteur ne fut achevée qu'en 1994.

4.1.2 - Contexte géologique

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 10). L'examen géologique de cette zone montre qu'il s'agit d'une écaille de péridotite coïncée 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. 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, 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 nappage latéritiques et éboulis sur les versants, des témoins de laves torrentielles dans les creeks.

L'examen des photographies aériennes disponibles dans le secteur est riche d'enseignements (figure 8 et 9). Les photographies les plus anciennes remontent à 1942. Il s'agit de photographies obliques. On possède également des photographies aériennes verticales de 1954 et 1976. Sur ces prises de vue, on peut nettement voir **sur la périphérie du dôme plusieurs morphologies typiques de glissement de terrain (figure 8 et 9) 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 le tracé de pistes de prospection sur le dôme.

4.1.3 - Description et analyse des événements de 1988 aux lotissements Mille et Berton

Le glissement et la coulée boueuse se déclenchent le 8 janvier 1988, pendant le passage du cyclone "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 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 (figure 7).

Le déroulement le plus probable du processus peut être décrit comme suit (figure 12) :

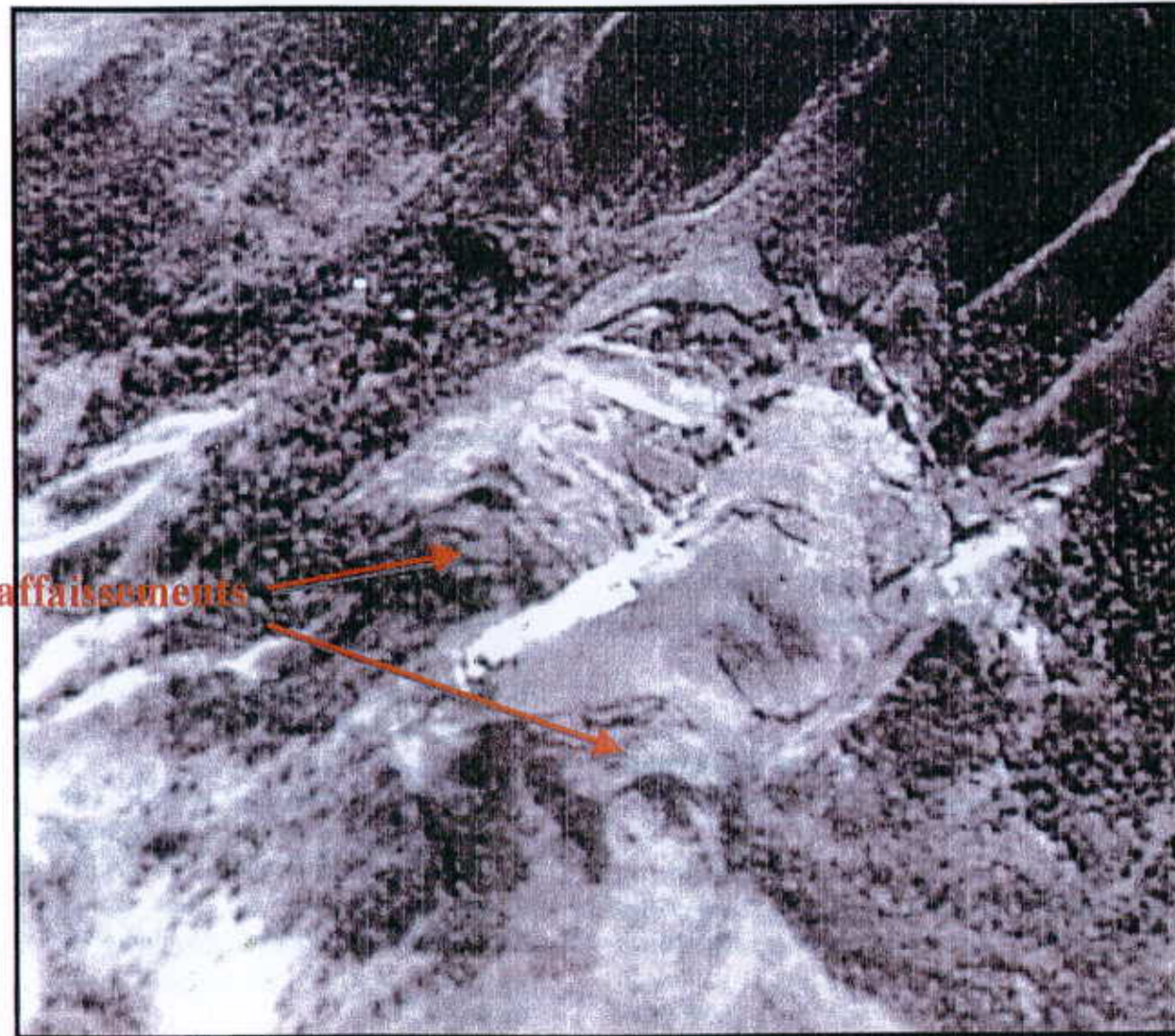
Phase 1 - Saturation en eaux des zones perméables que sont les péridotites disloquées du dôme, leur plancher basaltique imperméable, entraînant la mise en pression des fissures pré-existantes.

Phase 2 - Glissement de la partie la plus instable, à l'aval d'une zone affaissée et instable, située sur le flanc du dôme. Les matériaux ainsi écroulés sont divisés en deux parties : une qui vient s'accumuler dans le lit du creek de la mine Dédé. L'autre termine sa course et s'amortit dans la végétation. La zone de terrain qui s'est décrochée, déductible sur les anciennes photographies aériennes (80 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 à travers les débris de la coulée rocheuse. Il affouille le sol au pied de la zone de glissement, contribuant ainsi à son déséquilibre et provoquant en retour la chute de nouveaux pans de rochers dans son lit.

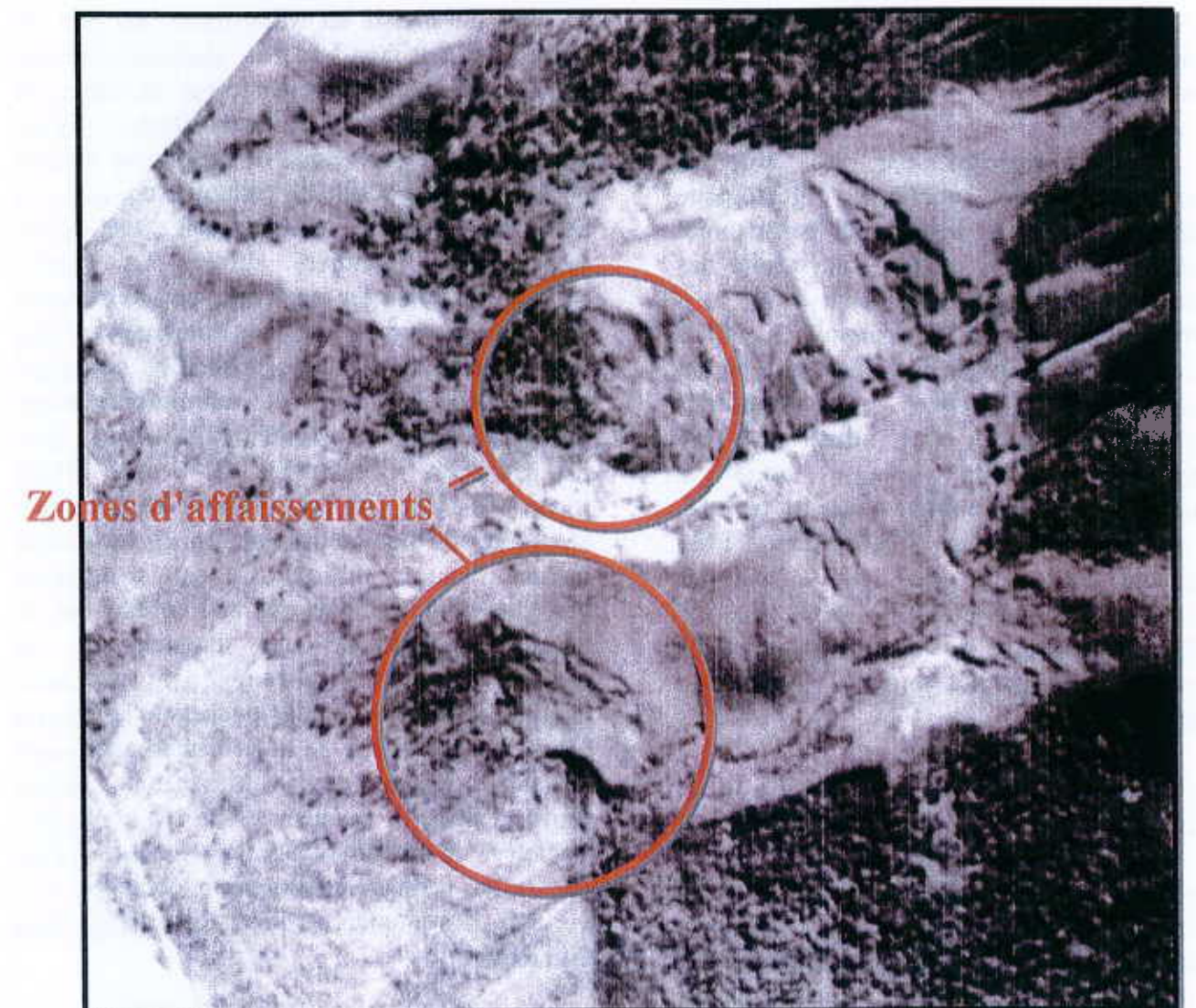
Phase 4 - Il est probable qu'à un certain moment le glissement a dû former un barrage sur le creek de la mine Dédé qui draine une grande surface de latérites mises à nu. Le barrage a permis la libération soudaine d'une quantité considérable de matériaux rocheux (provenant du glissement) et boueux (provenant de la zone d'amont du creek). C'est le **phénomène**

Fig. 8 – Dôme latéritique au-dessus des lotissements Mille et Berton : Anciennes photographies aériennes



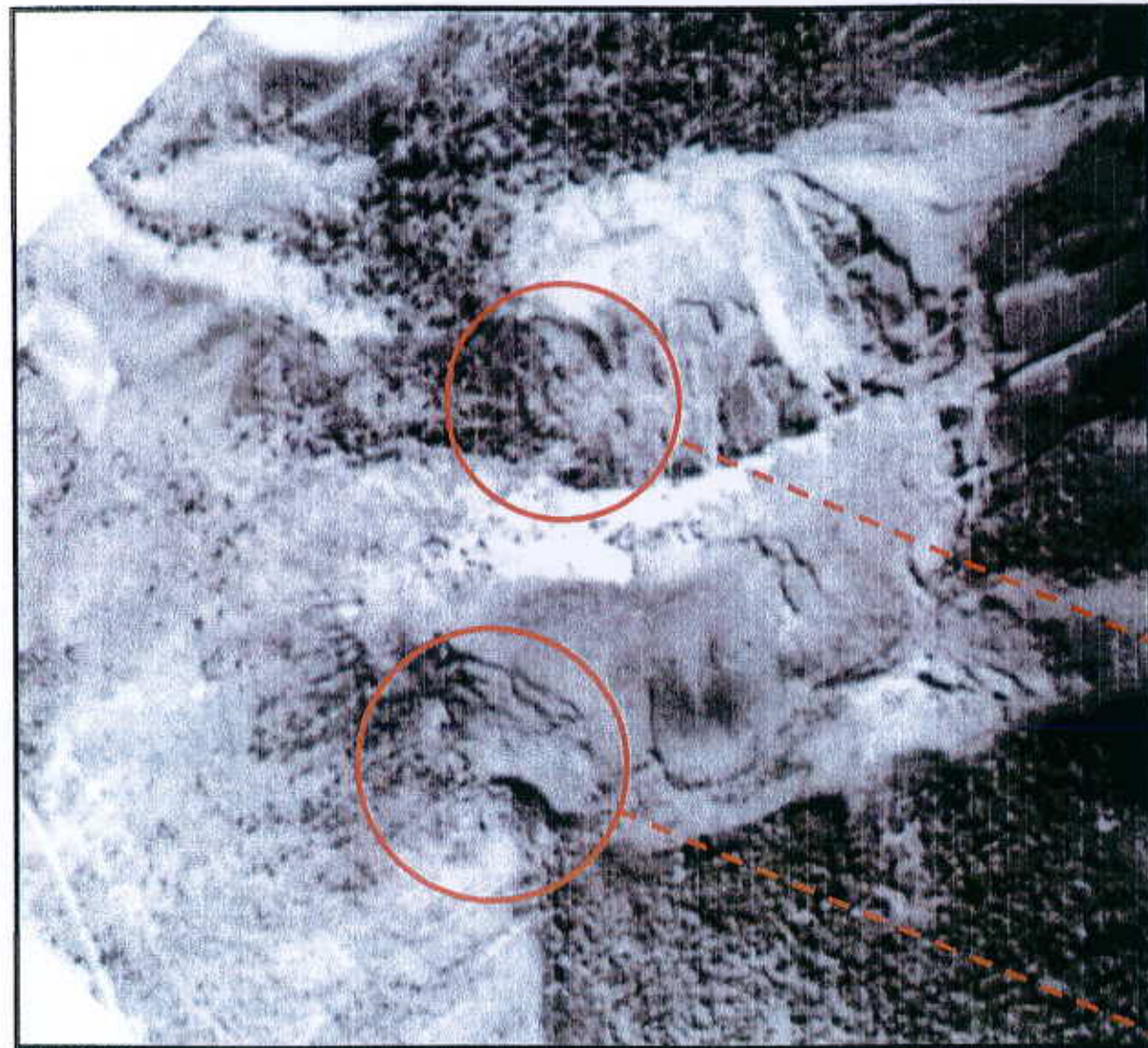
Prise de vue oblique, 1942

Aussi bien en 1942 qu'en 1954, deux zones d'affaissement avec marches d'escalier circulaires et concentriques, délimitant des panneaux effondrés sont visibles. Les travaux de la mine Dédé, ne sont dans aucunes de ces zones de glissements. Des traces verticales d'éboulements ayant arraché la végétation sont reconnaissables sur les talus situés en-dessous des zones d'instabilités.



Prise de vue verticale, 1954

**Fig. 9 – Dôme latéritique au-dessus des lotissements Mille et Berton :
Comparaison des zones d'affaissements entre 1954 et 1976**



1954

Sur les photographies aériennes de 1976, on ne note pas d'évolution significative des zones de mouvements de terrain. Par contre on relève l'apparition du tissu urbain et le tracé de pistes de prospection sur le dôme.

1976

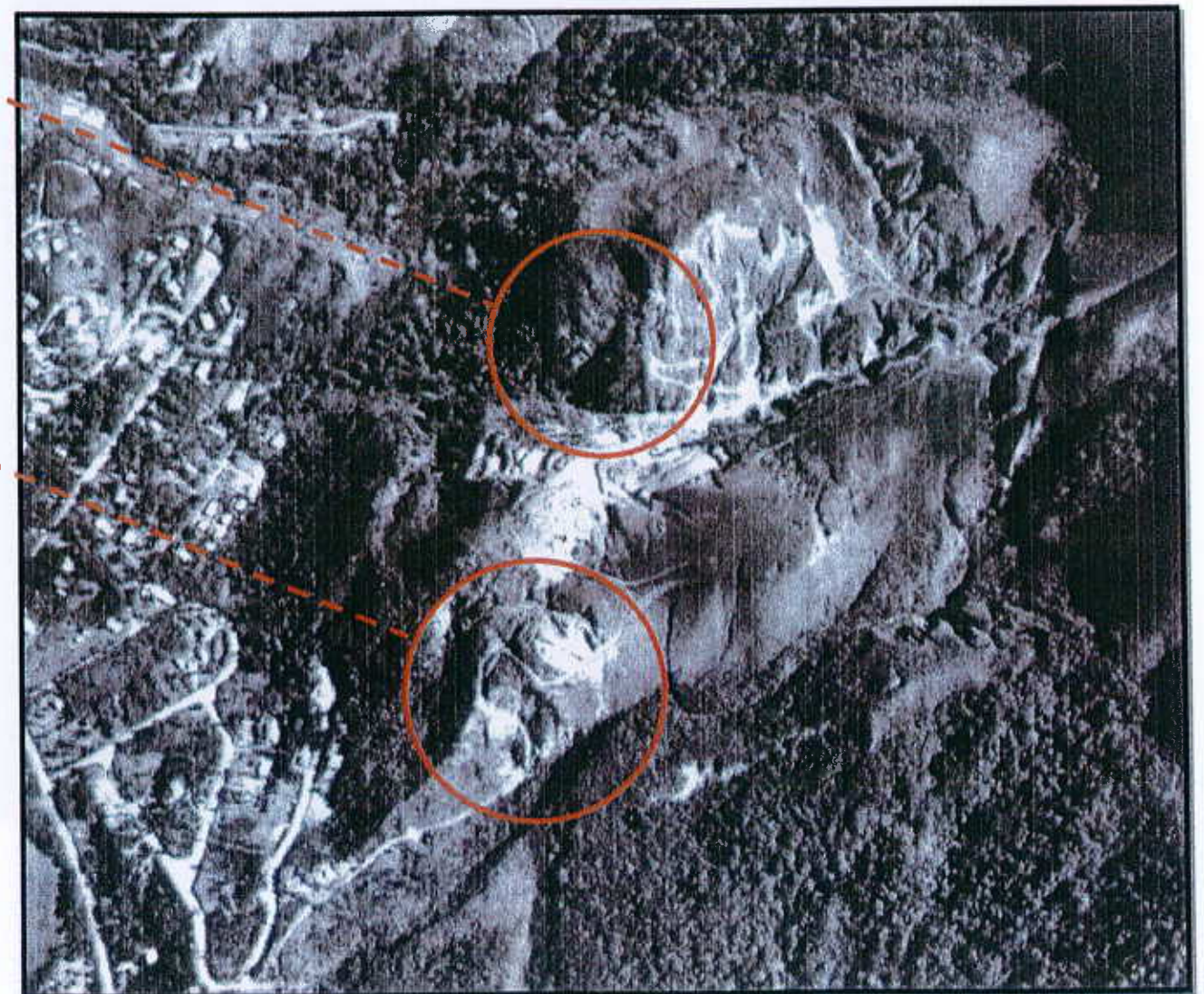


Fig. 10 – Vue du Dôme latéritique situé au-dessus des lotissements Mille et Berton (juin 2000)



1 – Glissement de janvier 1988

2 – Glissement de février 1990

Photographie GEOEX, 2000

Fig. 11 – Les différents mouvements de terrain en 1990



On aperçoit à gauche le glissement et la coulée boueuse de janvier 1988. A cette époque les travaux de confortement sont en cours. On distingue le barrage de dérivation en haut du creek de la mine Dédé, la conduite forcée et, en bas, le digue en enrochement et son ouvrage central. On voit à droite le glissement de février 1990.

d'embâcle (accumulation de matériaux puis rupture soudaine) 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 fossé 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 de potentiel qui permet d'aboutir à la libération du **phénomène de haute énergie que constitue une lave torrentielle**.

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. Ca et là des blocs impressionnants émergeaient de la boue (figure 7). 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.

La reconstitution et la bonne compréhension de l'enchaînement des phénomènes (glissement, barrage, embâcle, lave torrentielle) est décisive pour tous les travaux qui vont être entrepris 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

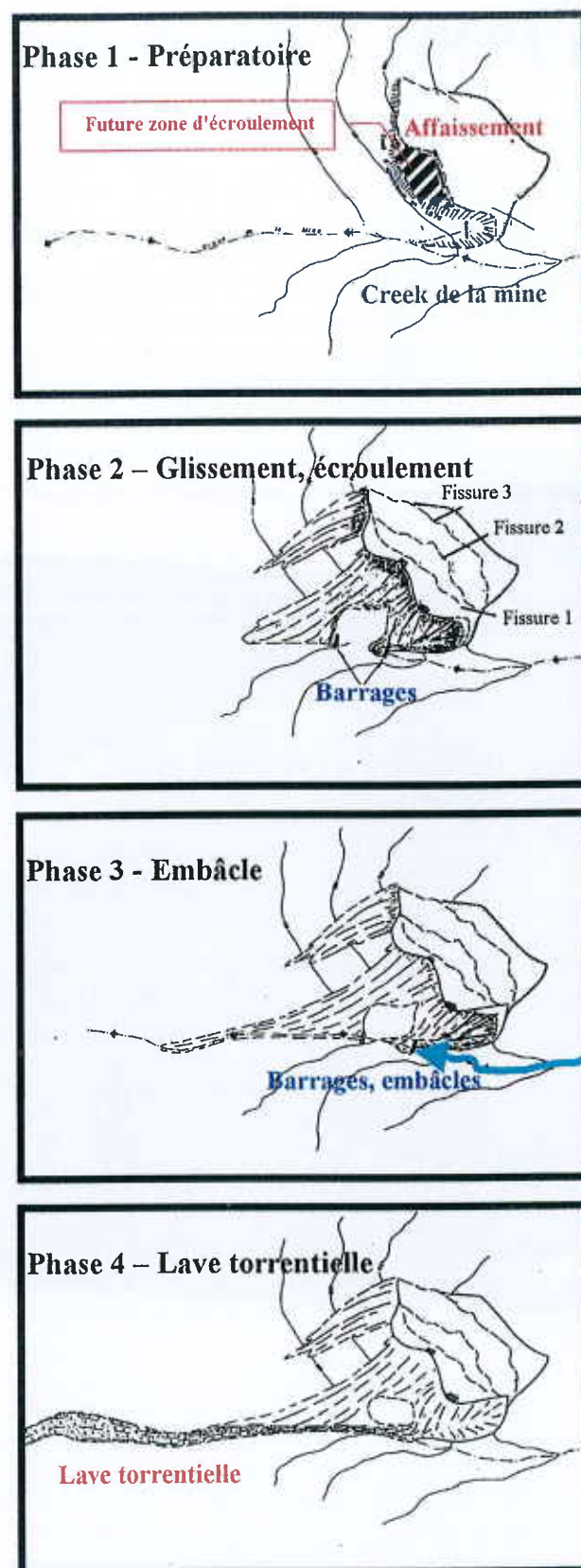


Fig. 12 – Enchaînement des différents phénomènes qui ont conduit à la coulée boueuse du Mont Dore en janvier 1988

diagnostic pertinent du phénomène permettra de prendre la décision importante et onéreuse de dériver le creek de la mine Dédé.

4.1.4 - Auscultation et étude détaillée de la zone du glissement

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 (figure 13). 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

l'existence d'un soubassement plus ou moins continu à l'origine, dissout par l'altération latéritique, 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, l'interface péridotite/basalte étant marqué par un alignement de sources intermittentes.

Quatre sondages en destructif ont été pratiqués dans la zone du glissement et équipés d'inclinomètres rustiques (tubage PVC dans lequel on descend des cylindres de diamètres décroissants). On repère ainsi la profondeur des zones de cisaillement, leur évolution et on peut individualiser et corrélérer des plans éventuels de ruptures. La 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.

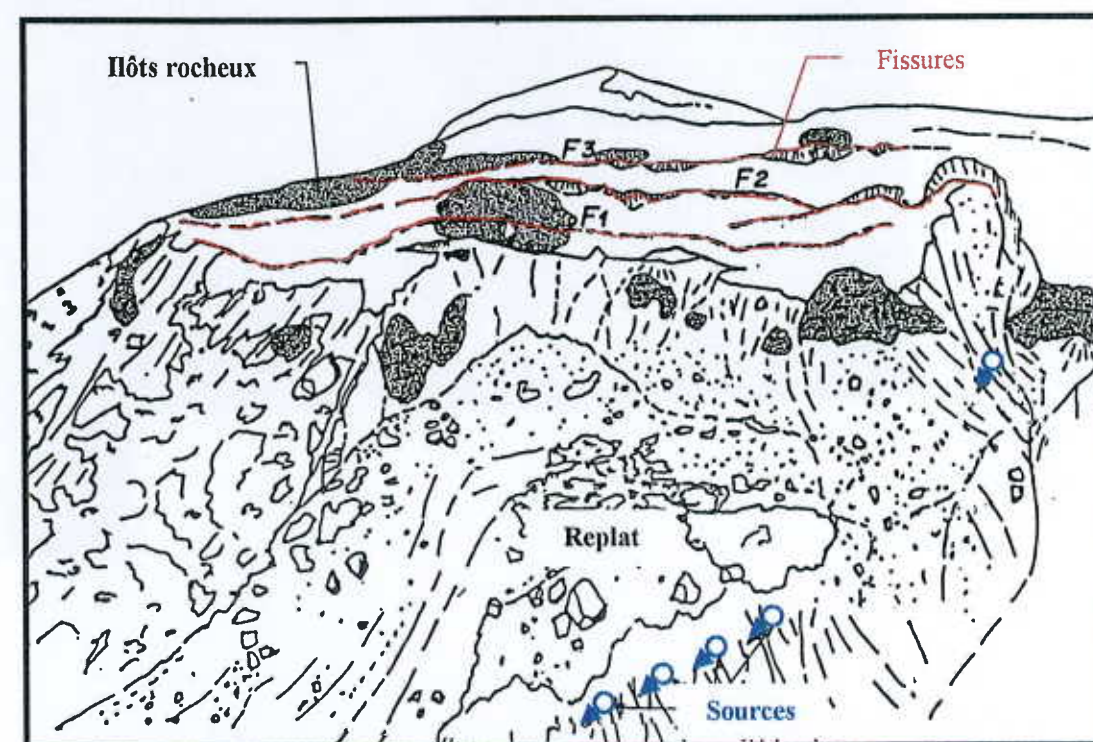


Fig. 13 – Dessin de la zone d'affaissement au lendemain du glissement

éboulements. Le rubanement original des péridotites (ici subhorizontal) pouvait se suivre d'un pointement rocheux à l'autre, témoignant de

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.

L'ensemble de ces mesures (figure 14) de surface a montré que les points les plus mobiles étaient les plus en aval. 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 a été enregistrée, ce qui illustre le rôle moteur de l'eau dans l'évolution du phénomène.

Il y eut 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.

4.1.5 - Diagnostic et travaux de confortement

Les différentes études entreprises montrèrent qu'il y avait 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 affouillé 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.

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

1 - contre les chutes de blocs elles consistèrent en leur destruction (purgé, marteau piqueur, 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 (figure 17). 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, rendant possible l'écoulement des eaux du creek, mais surtout l'arrêt et l'essorage des

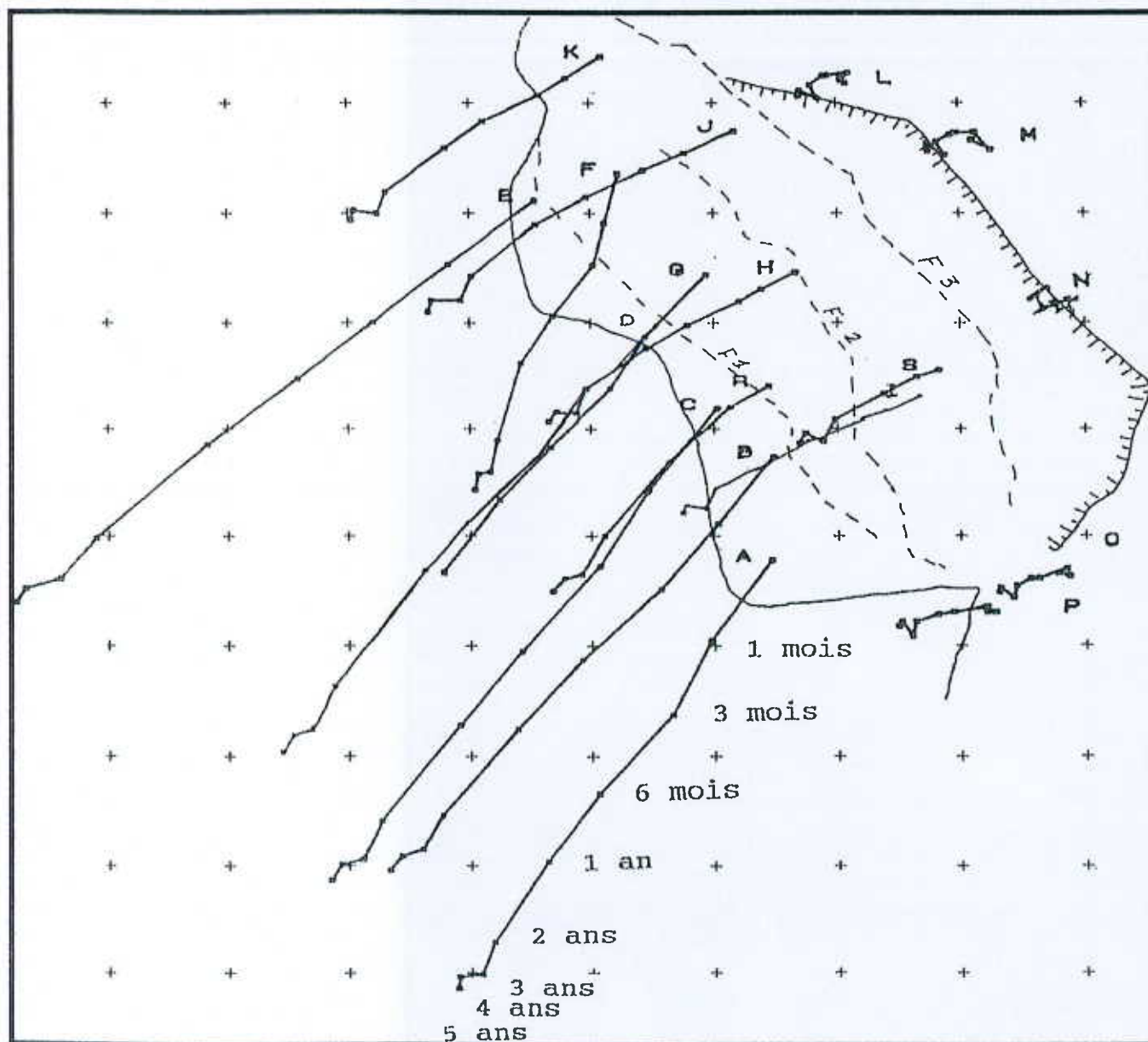


Fig. 14 - Vecteurs déplacements en XY des points repères de la zone du glissement pendant 4,5 ans

Fig. 15 – Photographie aérienne de la zone du glissement de 1988 pendant les travaux



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 dérivée par une conduite forcée (figure 17). 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 entreprit 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 localisées et étalées 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 sera 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 est 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 du volume de matériau écroulé et donc susceptible d'évoluer en coulée de boue 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 et de 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.

4.1.6 - Description et analyse des événements de 1990 au lotissement de l'Aiguade

Le 27 février 1990 au droit du lotissement de l'Aiguade, à à peine 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). Bien que de moindre importance et moins dangereux que les mouvements de terrain survenus deux ans auparavant, les populations et les autorités locales, sensibilisées, sont très apeurées par ce nouvel épisode.

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 (figure 16). 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 (figure 16). 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 serpentinite - substrat volcano-sédimentaire qui a entraîné la déstabilisation et le débouillage d'une quantité importante de matériaux non cohésifs instables.

4.1.7 - Diagnostic et travaux de confortement

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.

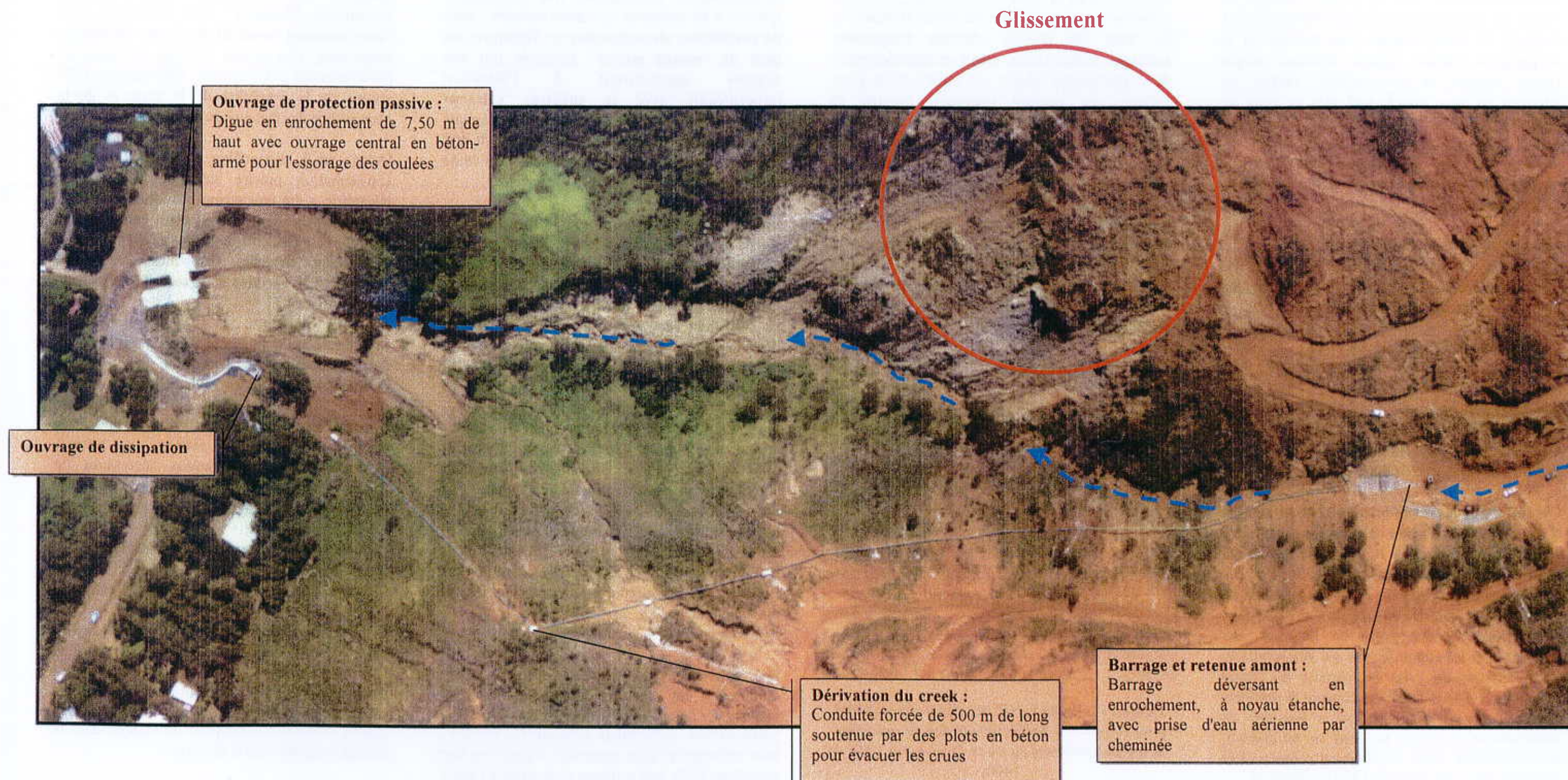
Fig. 16 – Glissement – coulée de février 1990 au lotissement de l'Aiguade



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 mise en pression de ces venues d'eau a provoqué le départ des matériaux du replat.



Fig. 17 – Eléments du dispositif de confortement



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.

4.1.8 - Conclusions

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

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 1954 en figure 9).

Les signes avant coureur 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 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 150 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
Etudes 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	
Etudes 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 imperméable avec le substrat volcano-sédimentaire**. 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 du cyclone "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'événement).

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.

- à maintenir les différents accès praticables,

- à 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. La sensibilité très grande de ce site a été prise en compte dans le zonage proposé dans le chapitre 5.

4.2 – Paquets glissés, lavakas, coulées de débris et ravinement dans le "massif minier"

4.2.1 – Les paquets glissés

Il s'agit d'unités importantes de roches, véritables pans de montagne décrochés des flancs abrupts des massifs miniers, ayant glissé en masse pour venir se stabiliser de manière précaire en contrebas de leur zones d'origine. On peut également les qualifier d'**écroulement en masse**. Ces ensembles de péridotites ont gardé une certaine unité, mais leur structure intime est disloquée, chaotique, très faiblement cohésive. Certains de ces phénomènes sont très anciens, le matériau qui les constitue étant latéritisé et les formes émoussées. C'est le cas d'un certain nombre d'unités situées au pied du versant SW abrupt du massif du Mont-Dore.

Une unité plus récente, encore bien reconnaissable, est située sur le flanc à regard ouest qui fait face au col de Plum, dominant la rivière de Plum. On trouve là une unité de péridotite disloquée de 300 mètres de long pour 200 mètres de large, formant un replat intermédiaire au pied de l'abrupt. Il est entouré 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'escaliers. 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 est hautement instable et dangereux. 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.

Zélande, Irlande). Ces ravines présentent généralement une forme en cœur ou en goutte



Fig.18 – Paquet glissé face au col de Plum

4.2.2 – Les lavakas

Les lavakas, problématique :

Le terme masculin de **lavaka**, signifiant "fossé" en malgache, 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-

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. Elles 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.

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.

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,

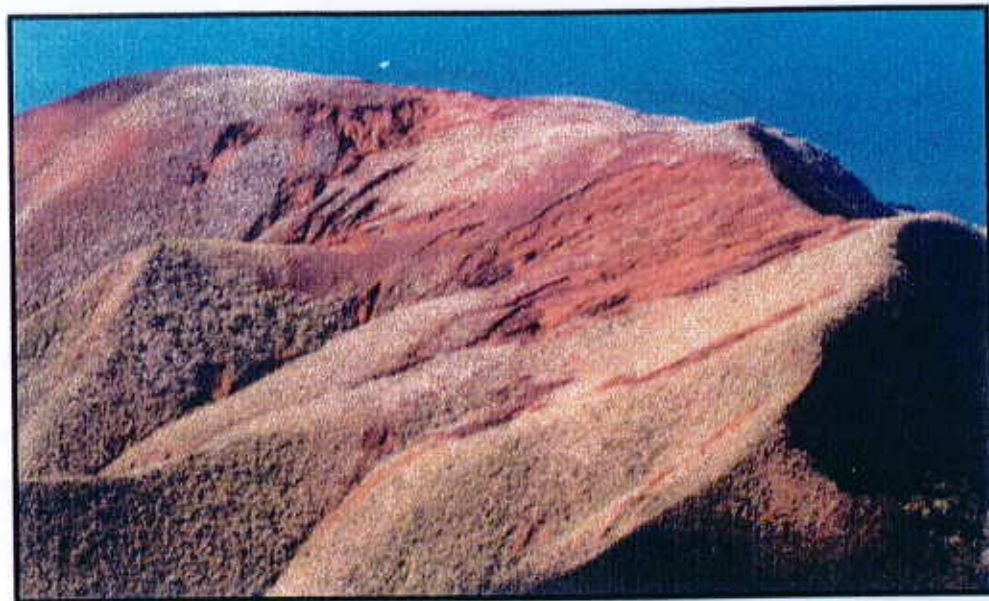


Fig. 18 bis - Lavakas sur l'arête est du massif du Mont-Dore.
Dans cet exemple le front d'érosion s'est propagé de manière régressive, de l'aval vers l'amont, à partir des ravines qui plongent vers la gauche pour ne s'arrêter qu'à la crête du massif vers la droite

- 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 a été jugé important de recenser les zones de lavakas.

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.

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 de terres limonitiques jaunes de granulométrie plus fines, 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 convertie en ruissellement. Ce phénomène est du 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" des latérites rouges supérieures 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 marqué 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 échantonnée, 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 limonitiques, 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 solitaires. 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.

Les lavakas dans la zone d'étude :

Une cartographie des lavakas dans la zone d'étude est présentée en figure 5. Les principales occurrences sont naturellement corrélées aux principales unités latéritiques épaisses. On compte 258 000 m² de lavaka pour 2 500 000 m² de latérites épaisses plus cuirasse démantelée, soit environ un rapport de 1 à 10, ou encore 10 % des terres latéritiques affectées par le phénomène. Les principaux groupements se situent :

- au sommet du massif du Mont-Dore à partir d'une altitude de 500 – 600 mètres,
- de part et d'autre des crêtes qui descendent depuis le sommet vers le NE,
- sur la façade maritime du massif, sur le dôme latéritique qui domine les lotissements Mille et Berton.

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 de la zone d'emprise et de la morphologie des lavakas du secteur concerné, 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).

Fig. 19 – Exemples de coulées de débris sur les flancs du massifs du Mont-Dore

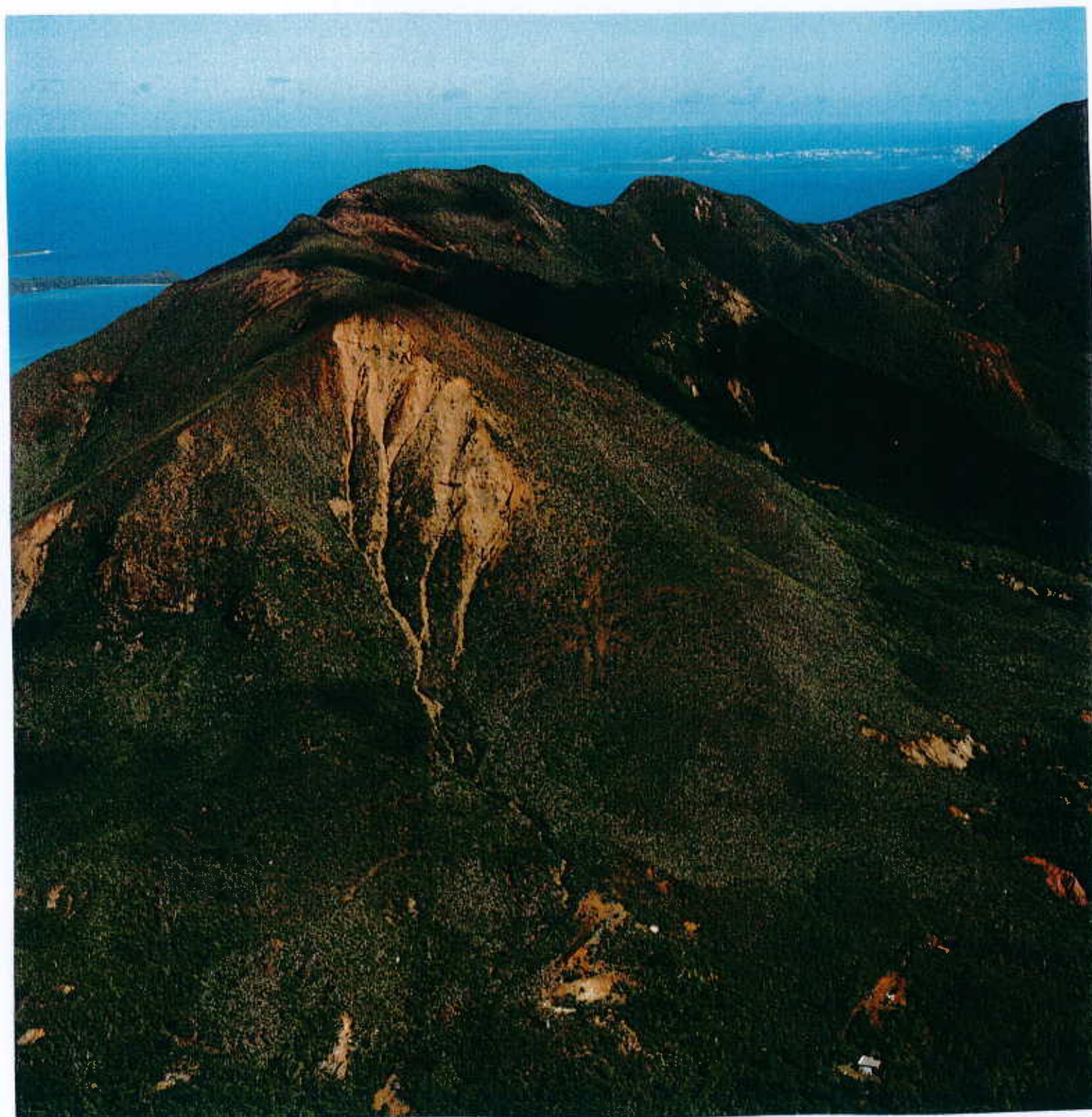


Photo 1 – Ensemble de coulées de débris essentiellement rocheux à l'extrémité est du massif. Les zones d'arrachement se situent dans un matériau saprolitique recouvert d'une mince couverture latéritique. Ces désordres étaient déjà visibles sur les photographies aériennes de 1942. Au second plan à droite, à la limite de l'ombre peut s'observer un phénomène identique.



Photo 2 – Ensemble de niches d'arrachement et coulées de débris plus ou moins cicatrisées, constellant les flancs pentus de la vallée qui descend vers le lotissement industriel. Au centre coulée de débris en latérite et saprolite visible depuis au moins 1942 et toujours active. Au premier plan à gauche, ancienne coulée cicatrisée.

4.2.3 – Les coulées de débris

Les coulées de débris sont un des aléas les plus fréquents dans les "massifs miniers". Il suffit de survoler ces massifs pour en apercevoir en grands nombres, souvent regroupés en essaims dans certains versants. Le massif du Mont-Dore ne fait pas exception.

Les coulées de débris, description :

La zone de départ laisse une cicatrice ou niche d'arrachement ouverte dans le couvert végétal et éventuellement le manteau latéritique. Le terme local "arrachement" est d'un emploi fréquent sur le Territoire, pour désigner ce type de désordre. 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 (coulée), souvent canalisée dans une gouttière, une ravine, un torrent et enfin parvenir sur le cône de déjection torrentiel.

Les coulées de débris, mécanisme :

Ces coulées sont dues, avant tout, à des excès de précipitations qui déclenchent le départ d'une tranche plus ou moins importante de matériaux de faible cohésion incluant couverture végétale, latérites, saprolites et blocs de péridotites, de quelque m² à quelques centaines de m², arrachées en domaine de 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. Lorsque le degré d'imbibition des matériaux mobilisés augmentent à la suite de pluies récurrentes ou que les précipitations sont exceptionnelles, les coulées à dominantes latéritiques peuvent évoluer vers le type "lave torrentielle".

L'examen de quelques cas montre que la circulation interne de l'eau est souvent à l'origine de cet aléa. La mise en pression lors des épisodes de fortes précipitations, dans les péridotites

fracturées ou à l'interface altérite/péridotite, provoque le débouillage 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.

Les coulées de débris, nature du risque :

Les coulées de débris sont des phénomènes brutaux et dangereux pour les installations situées en contrebas et dans l'environnement immédiat des drains qui les canalisent. D'une manière générale, le bon sens permet de concevoir que plus on est proche des reliefs et des principaux drains, plus grand est le danger.

Les coulées de débris dans la zone d'étude :

Il est possible d'observer les traces de ces phénomènes plus ou moins fraîches ou cicatrisées sur la plupart des flancs des différentes vallées qui drainent le massif. Il n'y a pratiquement pas de vallées qui ne soit dépourvue dans son bassin amont de ce type d'aléa. Dans le cas du Mont-Dore, les coulées à dominante rocheuse sont plus fréquentes sur l'abrupt de la face SW du massif qui fait face à la mer, alors que les coulées dont la composition est à dominante latéritique boueuse se trouvent plutôt dans les vallées étroites qui se développent sur le flancs NE du massif.

L'étude des photographies aériennes du massif montre que les coulées les plus importantes peuvent parvenir jusqu'à l'altitude de base de la grande plaine alluviale. C'est le cas pour la coulée qui alimente l'amont du creek du lotissement industriel, au Nord du Mont-Dore.

Si certaines coulées anciennes sont cicatrisées et reconquises par la végétation, d'autres restent en revanche actives de manière intermittentes. L'étude rétrospective par photographies aériennes de 1942 à 2000 montre ainsi que la coulée située dans le bassin amont du creek qui traverse le lotissement industriel, ouverte vraisemblablement dans une zone de saprolite fragile et épaisse, n'a cessé d'être active pendant toute cette période.

Les coulées les plus importantes, à dominante latéritique, se trouvent dans le bassin amont du creek du lotissement industriel (figure 19, photo 2). Une coulée à dominante rocheuse notable est localisée à l'extrémité SE du massif (figure 19, photo 1) surplombant la côte ouest de la baie de Plum. Une analyse statistique effectuée sur 37 occurrences des coulées de débris recensées sur la zone d'étude montrent que les niches d'arrachement sont localisées dans des zones pentées de 20° minimum à 51° maximum pour une moyenne de 36°.

4.2.4 – Le ravinement

Les ravines sont omniprésentes et ubiquistes dans le paysage des massifs de péridotites. A 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. A la différence des coulées de matériaux où ce transit se fait de façon brutale et rapide sous l'action de la gravité, lors de crises aiguës pluviométriques, on a affaire ici à un fonctionnement plus chronique et à un transfert de matériau plus dilué dans l'agent transporteur qu'est l'eau.

On les trouve donc au droit de toutes les zones dénudées ou dégradées telles que les lavakas ou les zones décapées artificiellement. 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. Ce n'est alors qu'une zone de transit de sédiments divers. Traversant une zone en partie altérée, saprolitique ou latéritique, une incision dans ce substrat fragile se produit. L'érosion du lit et son approfondissement entraînent le sapement des berges et l'apparition de multiples petits désordres sur les rives, mobilisant un surcroît de matériaux qui vient grossir le flux déritique. Ce mécanisme d'érosion concentré linéaire provoque l'élargissement du lit du cours d'eau et le recul de la zone amont. On

peut parler alors de ravinement actif à caractère régressif.

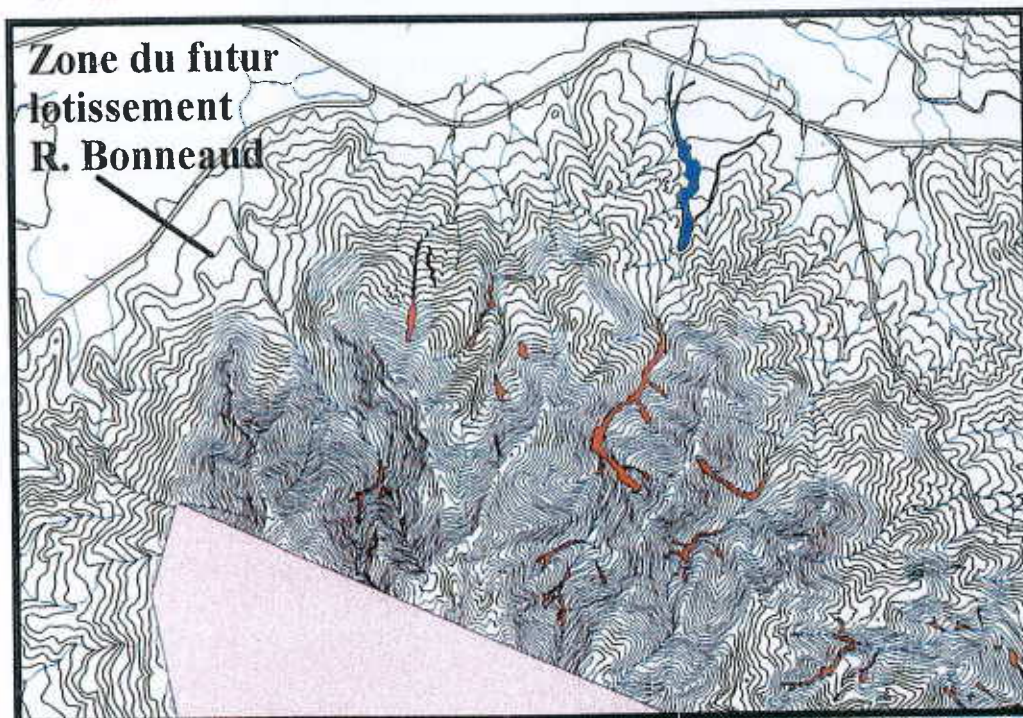
Les ravines peuvent naître pour diverses raisons :

- naturelle : évolution d'un lavaka s'enfonçant dans le saprolite sous-jacent,
- anthropique : aménagement humain divers mais surtout ouverture de piste ou de chantier induisant un écoulement qui va entailler la couverture latéritique et mettre à jour le saprolite. Parfois le tracé d'une ancienne piste peut lui-même se transformer en ravine active.

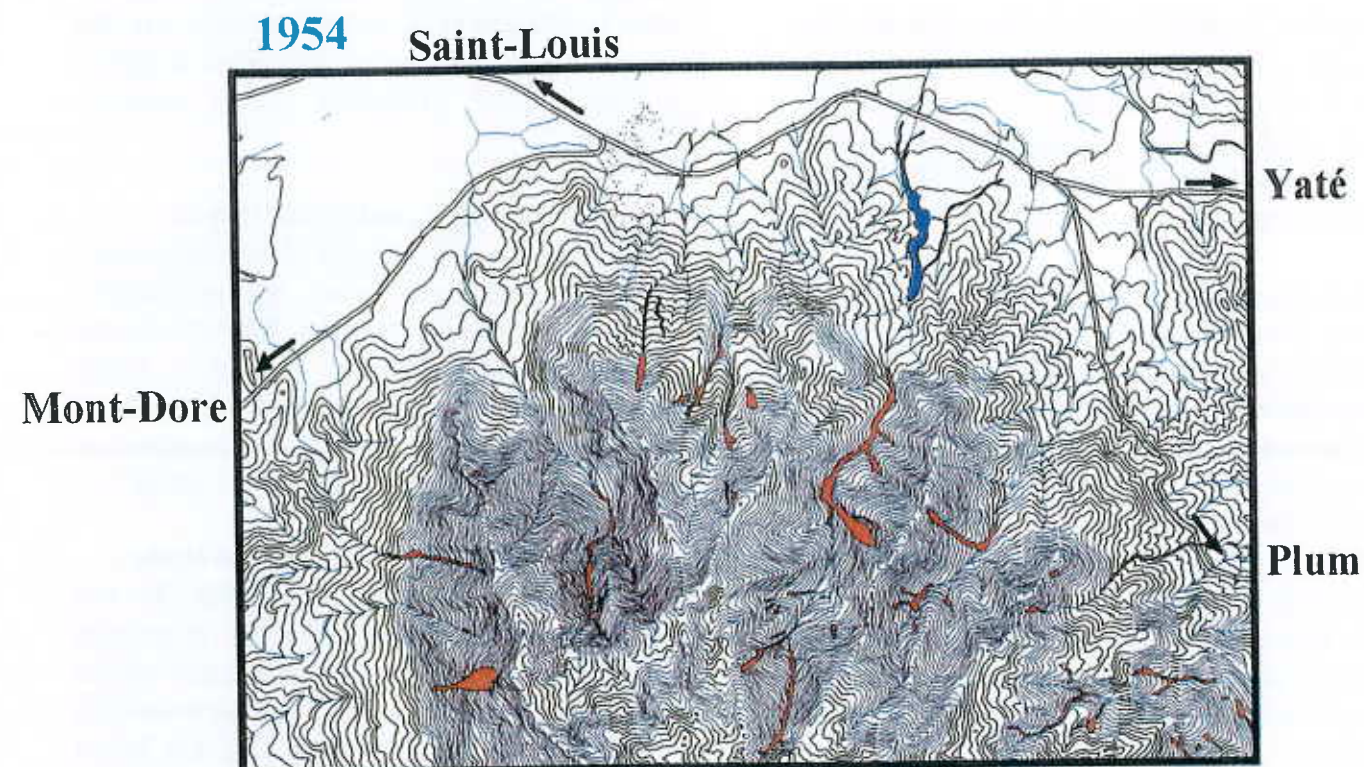
Lors des épisodes fortement pluvieux, les ravines peuvent donner naissance à des phénomènes dangereux tels que les laves torrentielles. Il est donc important de les recenser.

Fig. 20 - Evolution des désordres de 1942 à 1982 sur le flanc nord du massif du Mont-dore

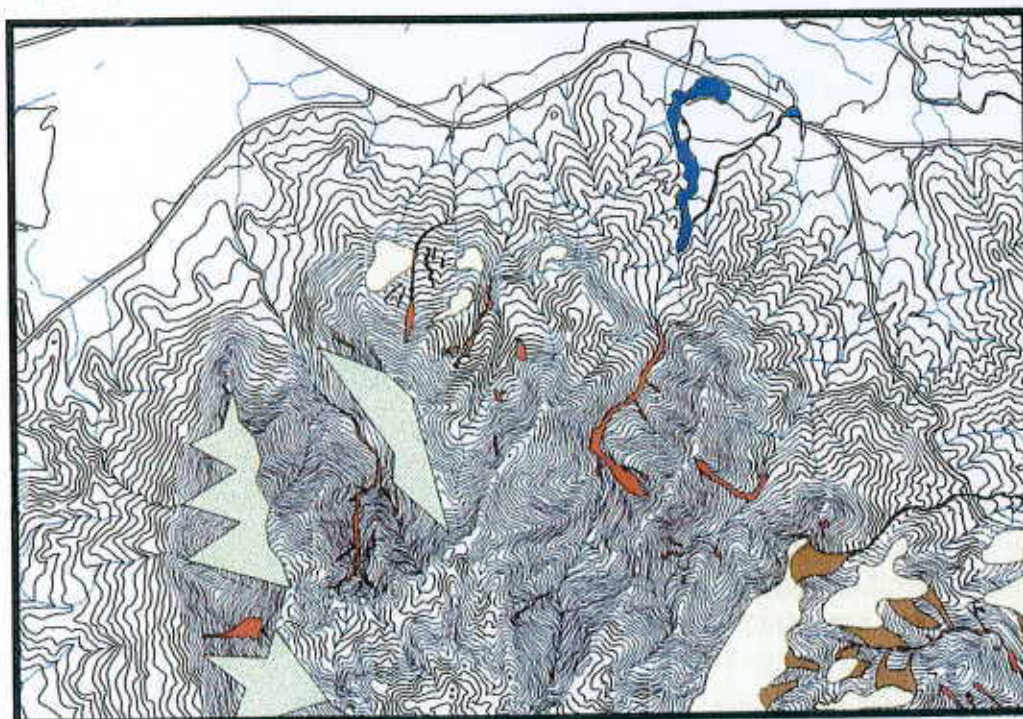
1942



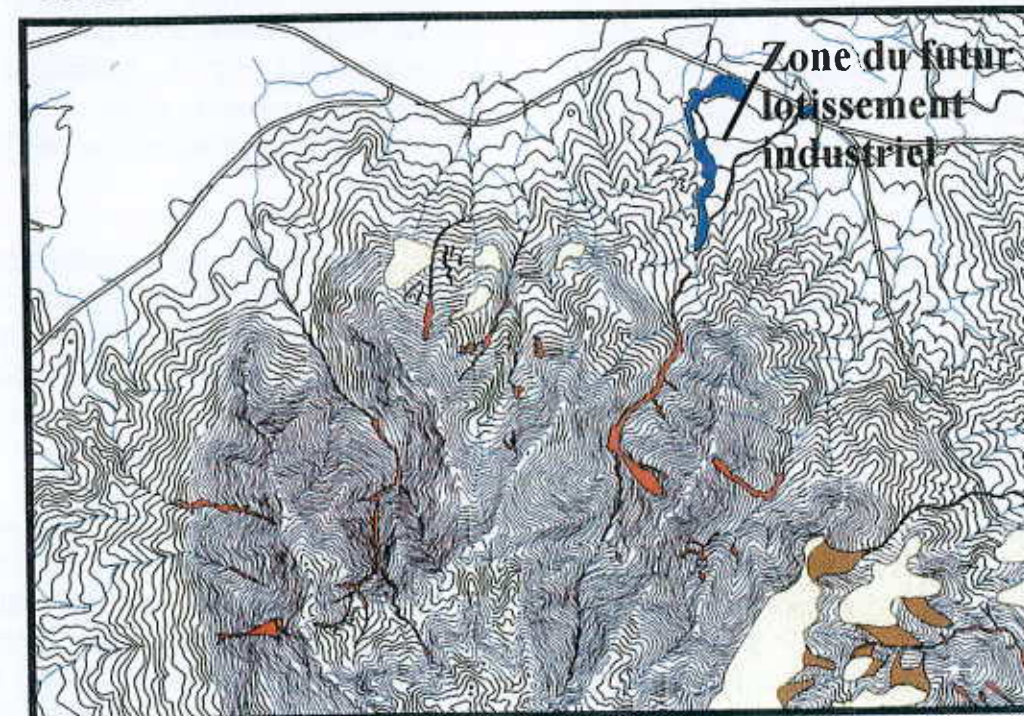
1954



1976



1982



Arrachements et coulées de débris
 Zones d'épandage et d'alluvionnement
 Exploitation minière
 Décharges minières

(sont hachurées les zones masquées sur les photos)

4.3 – Analyse rétrospective de l'évolution des désordres par photographies aériennes

4.3.1 – Finalité de la méthode

En l'absence de recul historique et de chroniques anciennes permettant d'évaluer la fréquence et l'intensité des phénomènes étudiés, l'un des seuls moyens de suivi de leur évolution est l'observation des photographies aériennes. Cette analyse peut permettre de mieux approcher certains paramètres tels que la progression de l'extension des désordres, leur répétitivité, les vitesses de cicatrisation et enfin de mieux apprécier les probabilités d'occurrence.

4.3.2 – Sources de données

Quatre couvertures photographiques "standards" disponibles sur l'ensemble du Territoire ont été principalement utilisées :

- **1942** : photographies de l'armée américaine à 1 / 20 000, verticales et obliques en noir et blanc.
- **1954** : photographies IGN à 1 / 40 000 en noir et blanc.
- **1976** : photographies IGN à 1 / 20 000 en noir et blanc.
- **1982** : photographies IGN à 1 / 8 000 en noir et blanc.

Les échelles données sont celles du tirage sur papier. Il est possible d'agrandir dans la limite de la résolution de l'original.

4.3.3 – La méthode et ses limites

La méthode analytique est essentiellement visuelle. Sur tous ces documents, 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. Il en est de même pour les angles de prises de vue et d'éclairage. Parfois des zones d'ombre empêchent toute observation. On suppose que les contrastes saisonniers sur la végétation, peu marqués en principe, n'interviennent pas. Les contrastes

hydriques sur les sols, fonctions de l'abondance et de la proximité des précipitations pendant la période précédant la prise de vue, ne peuvent en revanche pas être appréciés.

Le pas de temps procuré par ces documents est assez disparate puisqu'il varie de 6 à 22 ans. 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, cicatrifications 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 dans de telles situations. Tout au plus pourra-t-on mettre en évidence des tendances et des modifications manifestes.

4.3.4 – Résultats

Compte tenu de toutes ces réserves, on peut néanmoins tenter de procéder à l'analyse rétrospective de quelques secteurs.

Bassin versant à l'amont du lotissement R. Bonneaud (figure 20) : Ce bassin versant est indemne de tout aménagement dans sa partie amont. Sur les anciennes photographies aériennes, on observe plusieurs indices limités mais perceptibles d'érosion du cours d'eau, correspondant plus à une mise à nu du lit qu'à du ravinement et à de l'alluvionnement. On constate une extension de cette zone mise à nu dans le creek, de 1942 à 1982. Elle se propage à la fois vers l'amont et l'aval. Si l'on compare avec l'état actuel (figure 5), on constate un retour à un état comparable à celui de 1976. Malgré ces signes manifestes d'une érosion sur la partie amont du creek, on n'observe jamais sur les documents de langues d'épandage et d'alluvionnement au débouché du creek dans la plaine alluviale de la Coulée. Les photographies aériennes ne permettent pas de relever la série de petits arrachements visibles actuellement sur le terrain sur les flancs du bassin. On peut en conclure que **depuis la période de 1942, il n'y a pas eu de désordre majeur (du type coulée de débris par exemple) dans ce bassin versant, mais qu'une certaine tendance à l'érosion existe.**

Bassin versant de la mine Odette (figure 20) : Ce bassin versant domine le lotissement des Jardins des Belep. En 1942 et 1954, un certain nombre de ravines et arrachements sont observables. Sur les clichés de 1976 apparaissent les travaux de la mine Odette (active de 1936 à 37 et de 1956 à 1957). Les clichés de 1976 puis de 1982 montrent l'apparition de quelques ravines additionnelles directement dans la zone d'influence des travaux de la mine à l'Ouest et une extension des zones ravinées dans la partie est. Cette tendance à l'aggravation des phénomènes érosifs est confirmée par l'observation de l'état présent. En résumé, les

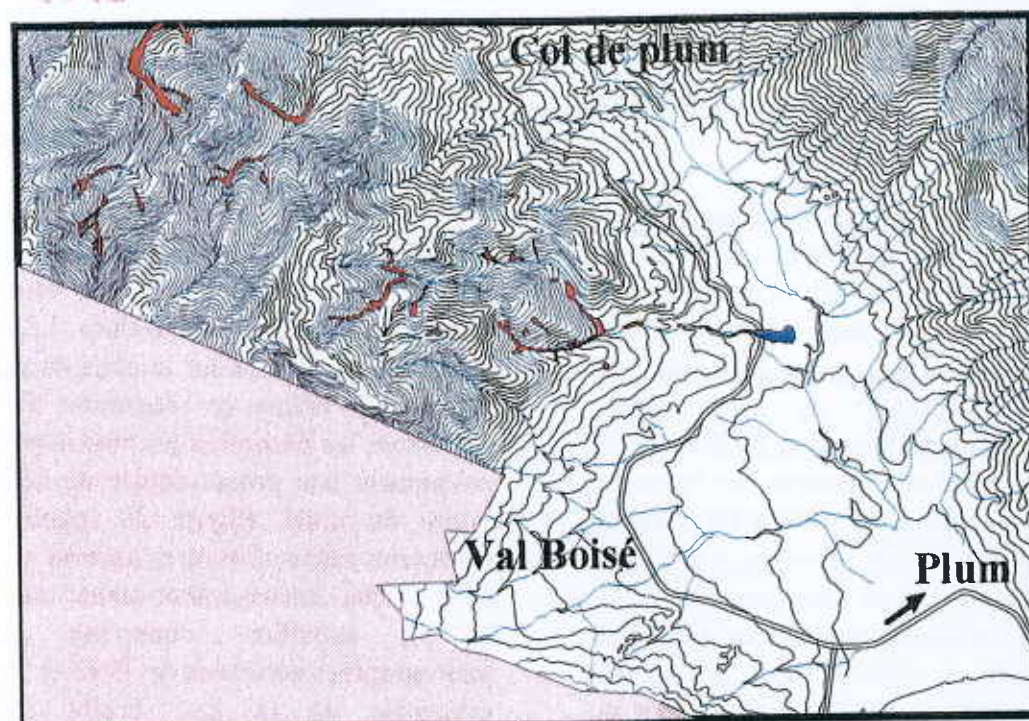
zones de ravinements qui existaient dès 1942, se sont aggravées en nombre et en longueur de manière perceptible jusqu'en 1982 et il semble que les travaux de la mine Odette dans les années 50 soient en relation avec le phénomène.

Bassin versant du lotissement industriel (figure 20) : Il s'agit du bassin versant le plus étendu du massif du Mont-Dore. Le lotissement industriel est installé sur le cône de déjection du torrent qui draine cet ensemble. On y relève également les désordres les plus importants avec notamment une grosse coulée de débris en rive droite du creek (figure 20, photo 1) et de nombreux autres désordres anciens ou actuels. Il n'y a aucun aménagement minier sur l'ensemble de la superficie concernée. Entre les photographies aériennes de 1942 et 54, la ravine principale de la rive droite montre une progression indiscutable de la superficie de sa zone d'arrachement. Cette progression n'est plus perceptible pour les prises de vue suivantes. Sur le haut bassin versant, un certain nombre de ravines, mineures par rapport au phénomène précédent, nettement visibles en 1942 et 54, se cicatrisent en 1976, pour disparaître sur le document de 1982. A l'aval, le cône de déjection est marqué à toutes les époques par une zone d'épandage et d'alluvionnement importante, dont la morphologie change notamment entre 42 – 54 et 76 – 82, sans que l'on puisse conclure à une tendance. Dans la situation actuelle (figure 5) on ne note pas de différence flagrante par rapport à l'état 82, si ce n'est la canalisation de la zone d'épandage aval et son aménagement. En résumé, on retient pour ce bassin versant la présence **d'une grande ravine active depuis 1942 jusqu'à nos jours, dont l'extension progresse, très nettement sur l'intervalle 42 – 54, puis de manière non perceptible mais probable par la suite.** Ce phénomène a nourri constamment une zone d'épandage à l'aval.

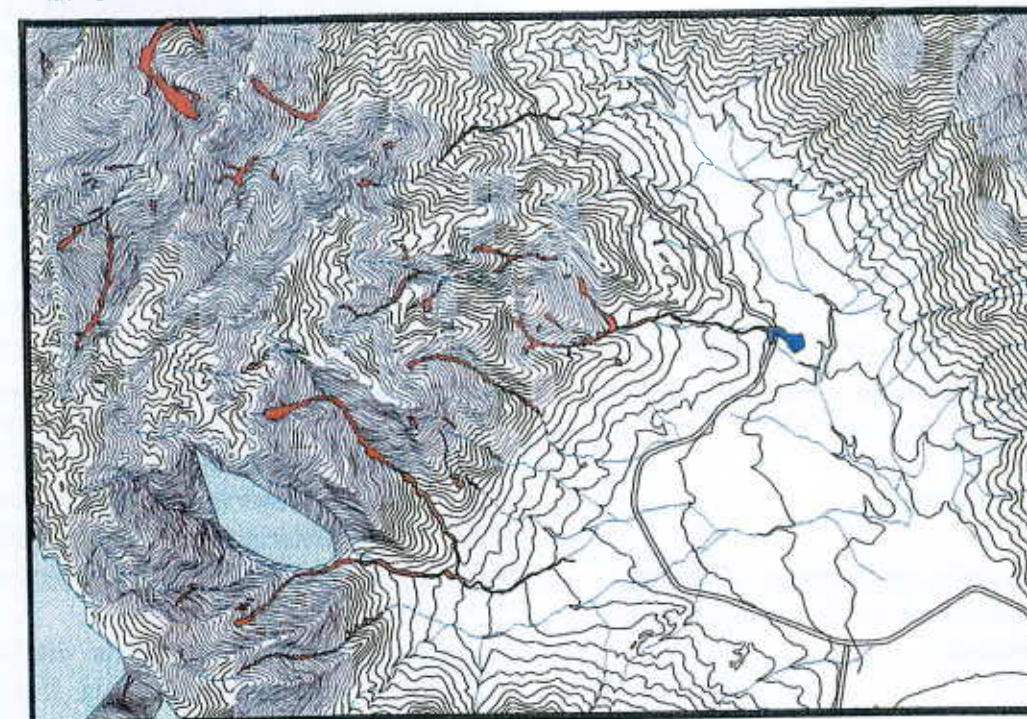
Secteur de la mine de Rouvray (figure 21) : Cette zone est drainée par plusieurs creeks tous

Fig. 21 - Evolution des désordres de 1942 à 1982 sur le flanc est du massif du Mont-dore

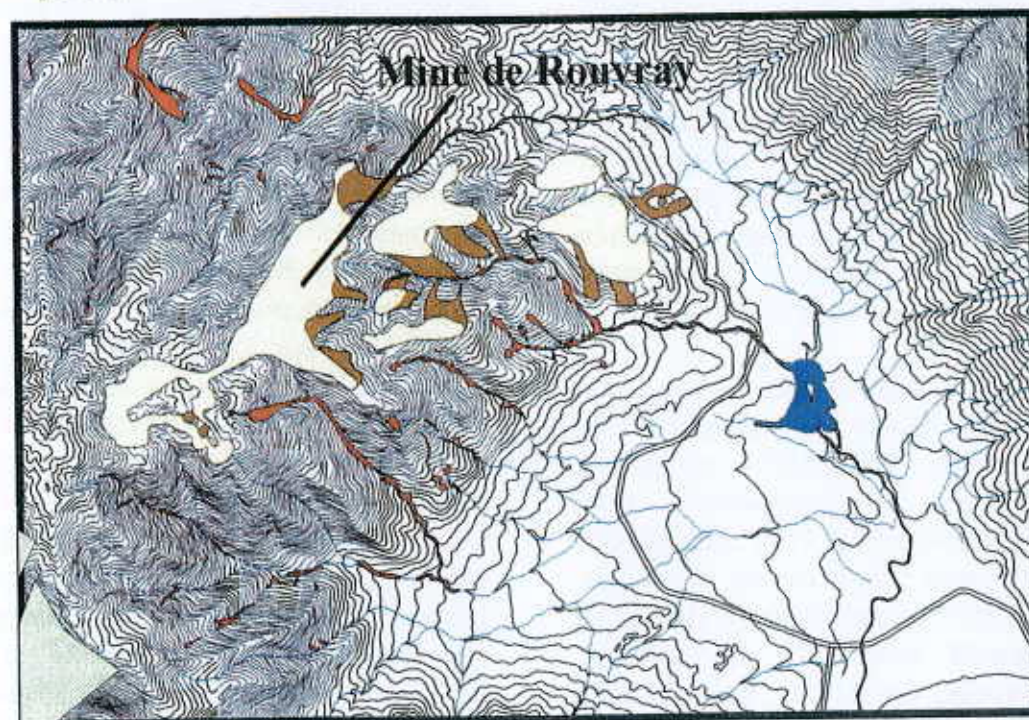
1942



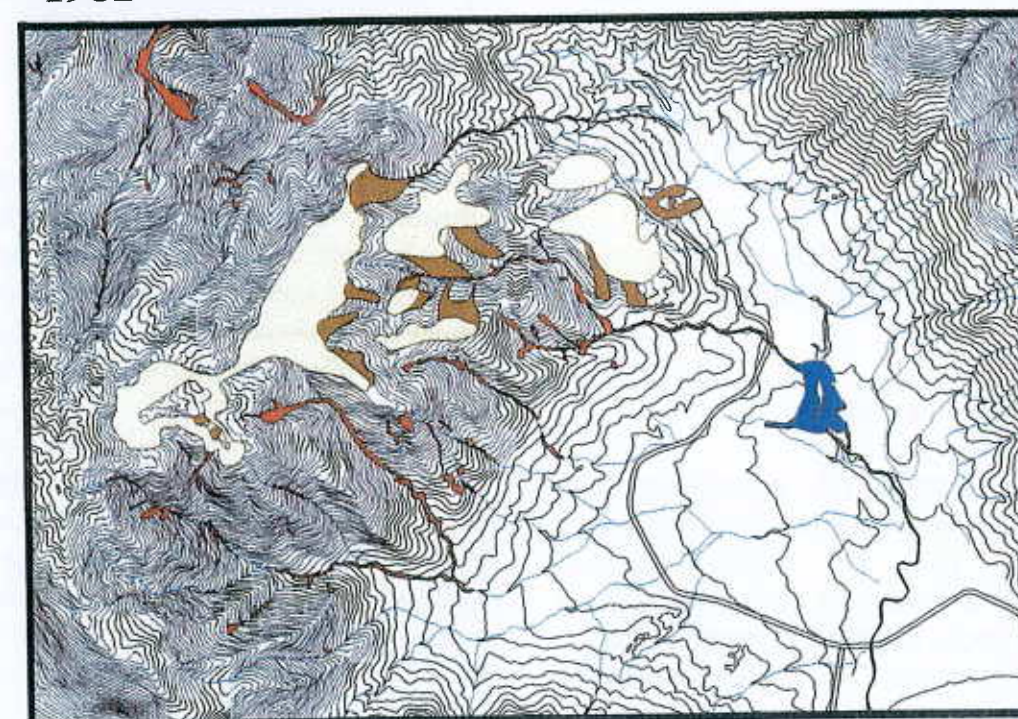
1954



1976



1982



(sont hachurées les zones masquées sur les photos)

tributaires de la rivière de Plum. Un certain nombre de ravines sont visibles dès 1942. Leur extension, du moins en longueur a nettement progressé en 1954. A partir de 1976, les importantes surfaces des travaux de la mine de Rouvray sont présents, qu'il s'agisse de carrières d'exploitation, des accès ou des décharges "sauvages" dans les versants. La progression des ravines est toujours perceptible, essentiellement dans leur extension en longueur, mais pas en largeur. Compte tenu de l'importance des travaux, des remaniements anthropiques et des rejets de stériles sur les pentes, on peut être étonné du peu de modifications des zones d'emprises des ravines aussi bien sur les prises de vue de 1976 que de 1982. On peut en conclure que l'essentiel des produits d'érosion induits par les travaux miniers sont transportés vers l'aval et ne font que transiter dans les ravines sans que ces dernières voient leurs dimensions s'accroître ou du moins que cela soit perceptible sur les documents photographiques. De fait, une zone d'alluvionnement se développe à l'aval du creek le plus important. Elle n'a cessé de progresser de puis 1942, où elle existe déjà, mais subit un accroissement très net après 1976. La comparaison avec l'état présent montre la persistance du phénomène de ravinement périphérique à l'ensemble des anciens travaux. En résumé, on peut dire que l'examen des photographies aériennes de ce secteur montre **l'existence du phénomène de ravinement avant et sa persistance et son aggravation après les travaux miniers**. Toutefois la réponse du milieu naturel par rapport aux modifications imposées par les travaux de l'époque, pratiqués sans ménagements, est peu perceptible à travers les documents photographiques. Il suffit de regarder aujourd'hui sur le terrain l'ampleur des désordres induits pour s'en convaincre.

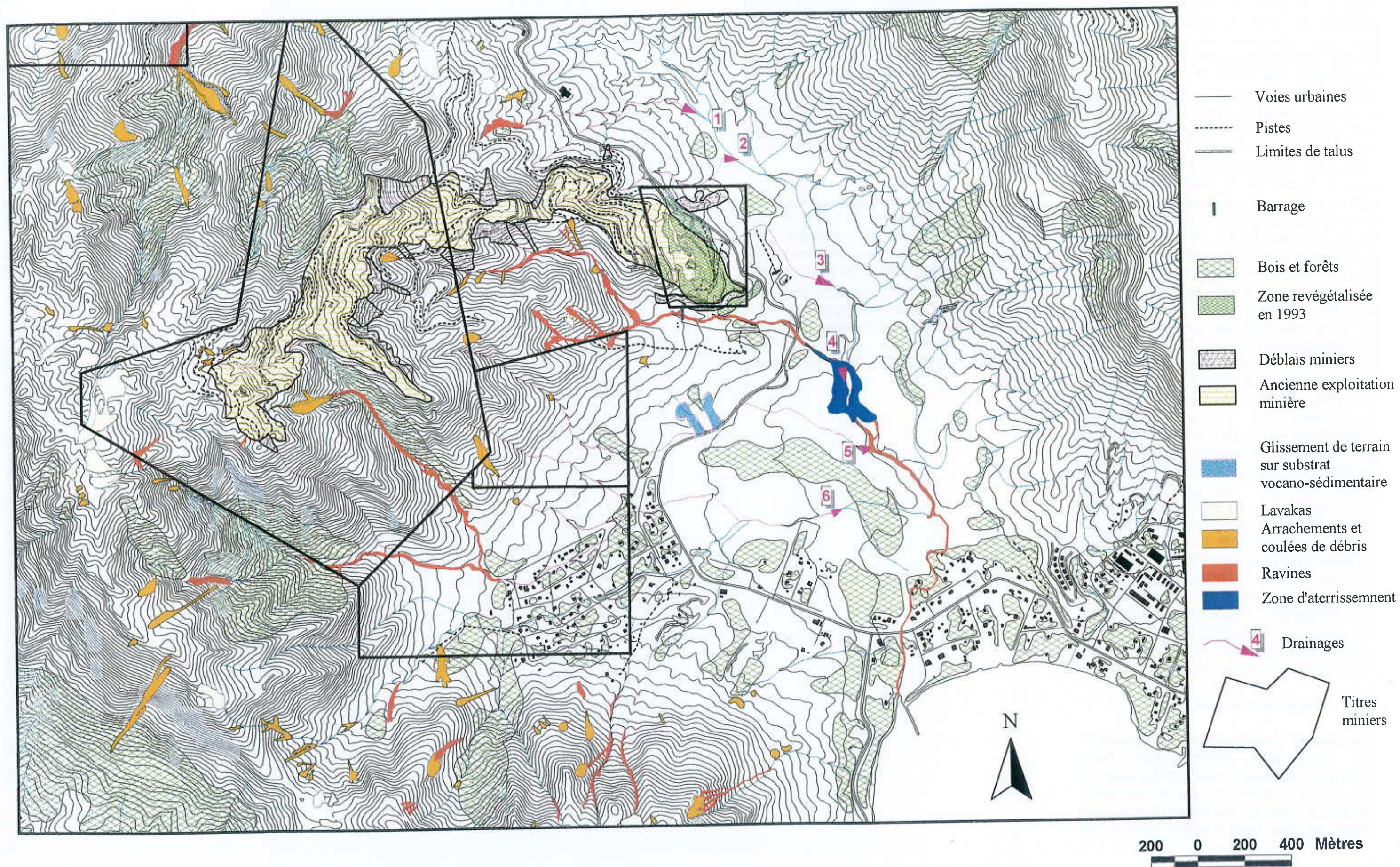
4.3.5 – Conclusions sur la méthode

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.

Ces réserves étant faites, on constate que sur le massif du Mont-Dore, **la plupart des phénomènes d'instabilités recensés sont présents de longue date** (au moins 1942) et que **les plus importants** (coulée de débris et ravine du creek du lotissement industriel) **se situent hors de toute influence anthropique**. Lorsqu'il y a interférence avec **les travaux miniers** de l'époque du "boom" ces derniers **ne font à l'évidence qu'accroître les phénomènes érosifs**.

Fig. 22 - Ancienne mine de Rouvray: état des lieux



4.4 – Désordres périphériques aux anciens travaux miniers

Trois anciennes mines se trouvent dans la zone d'étude. Par ordre d'importance la mine de Rouvray, sur le flanc NE du massif, la mine Odette au Nord et la mine Dédé sur la façade maritime au SW. Sur la carte informative des phénomènes recensés (figure 5) on a distingué :

- les zones mises à nu par l'activité minière regroupant les zones d'exploitation ou carrières et les zones d'aménagements divers où la densité des travaux a conduit à un décapage pratiquement complet de la végétation et/ou du sol.
- les zones de décharges de produits stériles dans les versants.

La mine de Rouvray est de loin la plus importante. Les travaux s'étagent entre les altitudes 50 et 600 mètres sur une superficie de 58 ha. La superficie projetée de décharge est de 9 ha. Bien que la zone soit fermée aux activités minières depuis 1976, quatre titres miniers y sont encore présents : Président Brisson, Victoire 3, LF1 (à la Société minière Biga/de Rouvray) et LF2 (au Territoire).

Rappelons que l'étude rétrospective (chapitre 4.3, figure 20) par photographies aériennes de différentes époques a montré que les phénomènes de ravinements étaient déjà présents en 1942, mais qu'ils n'avaient jamais cessé de progresser et se sont accélérés à la suite des travaux miniers des années 70.

Six creeks principaux (numérotés de 1 à 6 sur la figure 22) drainent la zone. Tous sont plus ou moins directement touchés par les phénomènes de sédimentation et d'érosion induits par les travaux. Les quatre premiers, dans leur partie la plus amont, au droit des plus importantes décharges sont engravés et encombrés par les rejets de stériles. Dans leur partie médiane ils présentent tous les signes du ravinement actif. Le creek 1 dans sa partie aval est couvert par la végétation. En revanche, le creek 4 dans cette



Fig. 23 – Vue d'ensemble de la mine de Rouvray

même partie est notablement engravé et les produits grossiers issus des travaux miniers sont charriés jusqu'à 100 à 200 mètres à l'aval de la RP 2. Les creeks 5 et 6 ne sont pollués que par

des boues latéritiques et ne drainent que des portions mineures des anciens travaux.

Tous ces creeks aboutissent à la rivière de Plum. Les sédiments les plus grossiers ne s'étendent pas au-delà du piémont du massif. En revanche l'eau drainée et les boues latéritiques descendent couramment jusqu'à l'embouchure de la rivière de Plum, lors des fortes précipitations. Dans cette zone basse le cours d'eau serpente dans la plaine alluviale qui est fermée vers la mer par un cordon littoral légèrement surélevé. Le creek doit franchir cet obstacle qui a une tendance naturelle à se reformer. Il y a donc là une zone d'engorgement propice à l'inondation, pour peu que de grosses précipitations surviennent et que l'évacuation par l'embouchure soit rendue difficile (marée haute, sédiments, végétation).

C'est dans un tel contexte qu'une partie du lotissement Collardeau a été plusieurs fois touché dans le passé par des inondations de boues latéritiques. Le dernier débordement date d'avril 1992. Les désordres induits par l'ancienne mine se traduisent donc plus en terme de débordement de la rivière de Plum à son embouchure, accompagné de boues latéritiques, que par des phénomènes de charriage torrentiel et de sédimentation. Le surcroît de sédiment transporté, pour l'essentiel par le creek n° 4, est d'ailleurs déposé et étalé naturellement dans une zone d'atterrissement intermédiaire à la cote 8 – 10 m, à 200 mètres à l'aval de la RP 1 et à au moins 1 kilomètre à l'amont du lotissement Collardeau.

Les causes fondamentales de ce phénomène d'inondation sont donc d'une part l'excès de ruissellement induit à l'amont par les zones d'anciens travaux miniers et l'insuffisance de l'évacuation au niveau de l'embouchure de la rivière. Les aménagements correctifs doivent donc concerner prioritairement ces deux zones sensibles. S'agissant de l'amont plusieurs séries de travaux ont été entreprises : revégétalisation de la partie basse de la mine en 1993, terrassement et revégétalisation de l'ensemble de la mine en 1999. Ces travaux devraient permettre à terme de retarder le flux. S'agissant de l'aval, la

partie basse des creeks a été plusieurs fois curée. L'ensemble de ces dispositions doit être maintenu.

La mine Odette ne représente que 8.7 ha de terrains mis à nu. Ces travaux sont donc réduits, mais dominent directement des zones habitées (lotissement des Jardins des Beleps) ou commerciale (centre commercial du Vallon-Dore). Les anciens travaux sont encore couverts par le titre minier Odette Red. a la Société minière Biga/de Rouvray. L'exploitation a eu lieu de 1936 à 1937 et de 1956 à 1957.

Les zones d'extraction sont peu étendues et une bonne partie de l'exploitation a du être pratiquée avec des moyens artisanaux. En revanche le linéaire de piste ouverte pour la prospection est relativement important et a été développé dans un ensemble de lavakas et de ravines qui existait déjà avant exploitation. L'analyse rétrospective de l'évolution des désordres par les photographies aériennes (cf. chapitre 4.2 et figure 20) a montré que ces phénomènes étaient déjà présents en 1942, avant travaux, et avaient été aggravés à partir des années 70.

Des travaux de réhabilitation sont en cours.

La mine Dédé ne représente que 6 ha de travaux et carrière pour 1 ha de décharge minière. Elle a été exploitée de 1936 à 1940, de manière artisanale et sans moyens mécaniques. Ces travaux sont déjà visibles sur les photographies aériennes de 1942. Il est important de bien préciser ici que ces travaux ne sont pas directement impliqués dans les phénomènes d'instabilité qui ont affecté les lotissements (Mille, Berton et l'Aiguade) situés au pied du dôme de la mine Dédé, en 1988 et 1990 (cf. chapitre 4.1). Les glissements et coulées boueuses de 1988 et 1990 prennent leur origine dans des terrains situés à l'écart des anciens travaux. Tout au plus les surfaces mises à nu ont-elles contribué à accroître la quantité d'eau ruisselante. L'ensemble de la zone exploitée a fait l'objet de travaux de revégétalisation.

4.5 – Phénomènes anciens de grande ampleur

Il n'est pas rare de reconnaître sur les flancs des massifs miniers, les formes estompées d'anciennes masses glissées ou écroulées, de grandes dimensions. Ces témoins anciens de mouvements de terrain de grande ampleur, dont la morphologie a été lissée par l'altération, souvent reconquis par la végétation, mais qui sont cependant reconnaissables par un spécialiste, nous montrent que parfois des phénomènes catastrophiques, à l'échelle de tout un versant, peuvent survenir. Leur ancienneté est attestée par leur morphologie qui a subi l'empreinte des phénomènes d'altération et d'érosion postérieurs. L'âge de ces événements est pratiquement impossible à déterminer. Il se chiffre plus probablement en milliers qu'en centaines d'années, et la plupart d'entre eux se sont sans doute déroulés avant la période historique. Ils ont pu être déclenchés à l'occasion de phénomènes climatiques majeurs et à des époques où les gradients et contrastes du milieu naturel (relief, climat) étaient plus importants. La fréquence de retour de tels phénomènes ne peut donc pas être connue, toutefois il est clair qu'à l'échelle humaine ils constituent des événements exceptionnels qui ont peu de probabilité de se reproduire sous nos yeux.

S'il ne faut donc pas s'alarmer outre mesure de la présence de ces structures vestiges, il convient par contre de se méfier de leur environnement et de leur périphérie qui est toujours susceptible d'être réactivée. Ces occurrences traduisent fondamentalement la présence de zones fragiles et instables.

Dans le cadre de la zone d'étude on peut reconnaître une telle zone à l'Est du lotissement Léoni, dans une zone de forêt dense (figure 24 et 25). La crête du massif minier dans ce secteur (Ko Wé Kwié sur la coupure 1 / 10 000 DI3T) montre une forme en cirque perché à 300 mètres d'altitude, surmontant un replat anormal car ne se rattachant pas à une surface latéritique. Il s'agit vraisemblablement d'une zone d'affaissement à



Fig. 24 – Zone située à l'Est du lotissement Léoni. Ancienne forme d'écroulement reconnaissable dans le paysage

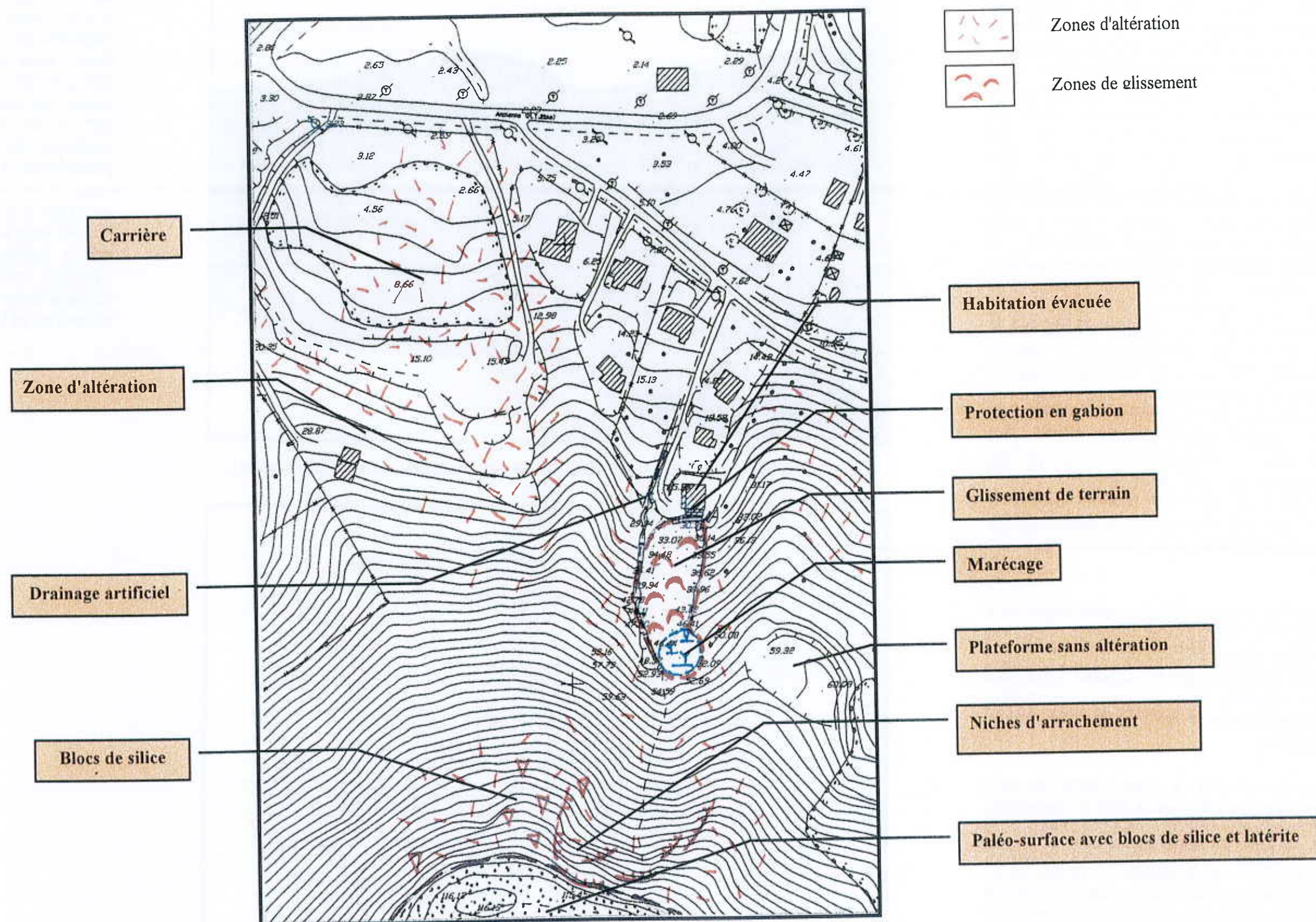


Fig. 25 – Interprétation géomorphologique de la photographie précédente

grande échelle (200 x 100 mètres), décrochée depuis la crête principale du massif qui culmine ici à 400 mètres d'altitude. Tout le versant qui est surplombé par cette structure, présente la forme d'une zone recouverte par des produits d'écroulement qui sont venus s'étaler jusqu'au littoral. On trouve d'ailleurs dans les talus de la RP2 à cet endroit, recouvrant le substrat basaltique, des épandages de latérites à blocs de péridotite sur des épaisseurs variables.

Le littoral et le flanc du massif situé en contrebas de cette zone ne supportent actuellement presque aucune habitation. De belles zones de forêts s'étendent encore dans tout le secteur. Il serait souhaitable de maintenir cette situation naturelle protectrice en l'état.

Fig. 26 – Glissement de terrain du lotissement du Santal : Eléments de terrain (1 / 5000)



4.6 – Désordres dans le substrat volcano-sédimentaire

4.6.1 – Le glissement de terrain 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 (photo 1 de la figure 27), 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. Des gabions ont été disposés pour contenir les déplacements du terrain (photo 2 de la figure 27). 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, marqué par une végétation hydromorphe (joncs, gros niaoulis),
- 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 posé 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 (photo 3 de la figure 27), 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 actuelle 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.

4.6.2 – Les mouvements de terrain 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, argiliés 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. 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'épandages 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. Cette eau est en quelque sorte de la même nature et fait partie du même aquifère que celle qui émerge au col de Plum.

Eau et argile d'altération constituent les éléments naturels qui engendrent les instabilités du secteur.

Données des photographies aériennes

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 28). Plusieurs niches d'arrachement, des fentes de traction semi-circulaires et concentriques, et des langues de produits destructurés 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 !

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

Fig. 27 – Glissement de terrain du lotissement du Santal



Photo 1 : Vue d'ensemble depuis col Barrau



Photo 2 : Bourrelet frontal et protections en gabions

Photo 3 : Zone d'altération mise à jour dans la carrière située à l'Ouest



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.

4.6.3 - Conclusions

On retrouve dans ces deux exemples les mêmes éléments facteurs de mouvements de terrain, à savoir des zones d'altération argileuses et des venues d'eau.

L'origine des désordres est donc compréhensible si l'on prend en compte le contexte géologique et si on se replace dans un cadre plus large intégrant la morphogenèse récente, les paléosurfaces et l'altération associée dans le substrat volcano-sédimentaire. Les phénomènes restent cependant isolés et l'on n'observe pas un cortège systématique de désordres dans ce type d'environnement.

Il reste à évaluer la dangerosité du phénomène. 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. Les vitesses d'évolution de tels glissements 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 de la couverture superficielle argileuse et un écoulement rapide et brutal de boue est à craindre. Cela est d'autant plus vrai si des aménagements sans précautions sont pratiqués sur de telles zones, tels que des terrassements imposants une surcharge aux terrains potentiellement mobilisables. Ce phénomène de liquéfaction a déjà été constaté dans un contexte similaire (glissement et coulée de boue dans les schistes altérés à Nondoué sur la commune de Dumbéa). Il est probable que

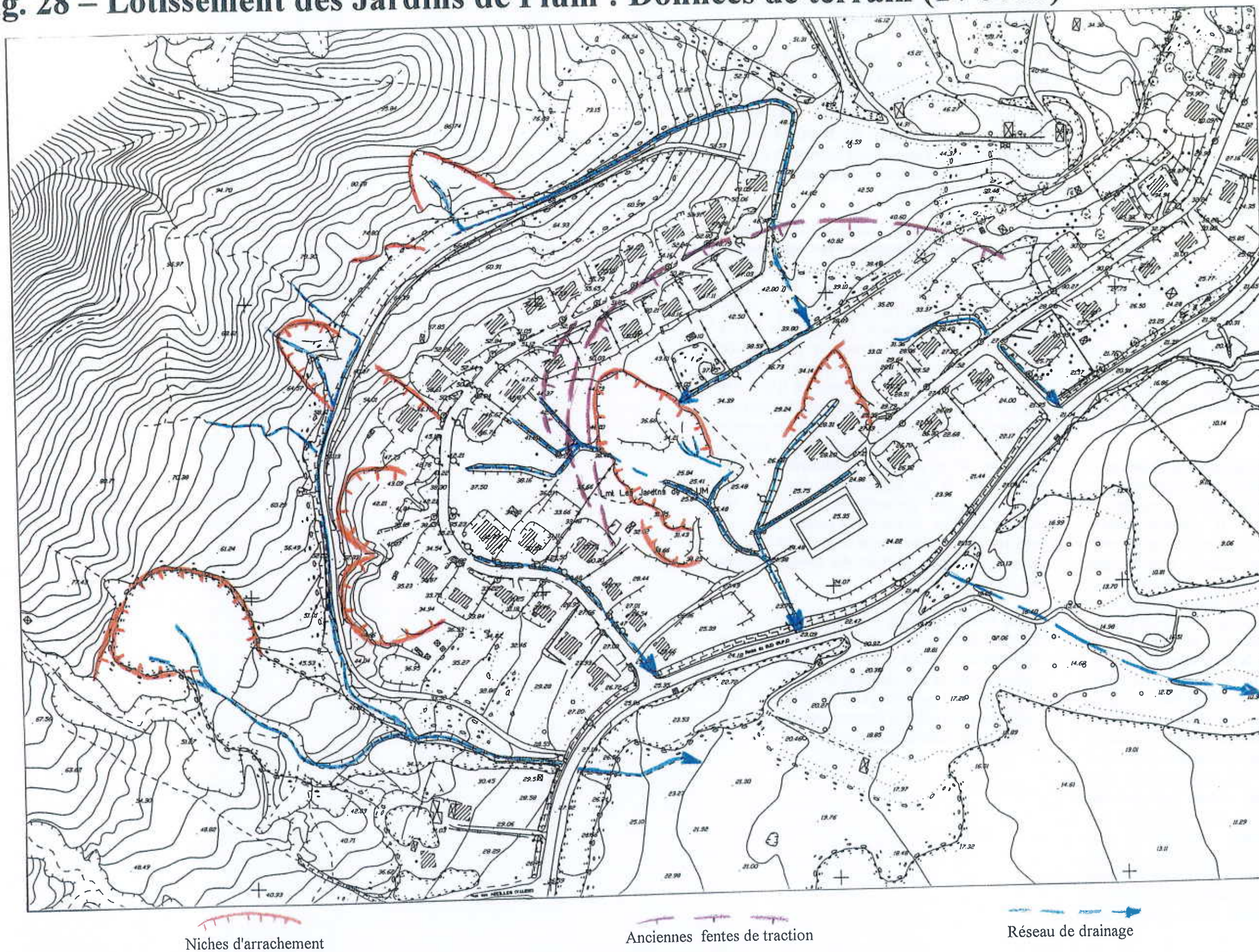
c'est ce type de phénomène qui a eu lieu au lotissement des jardins de Plum.

En fin de compte les risques encourus sont, au mieux bénins et restreints à l'échelle d'une parcelle (lotissement des Santals), au pire sérieux et étendus à un groupement d'habitation (lotissement des jardins de Plum). C'est ce dernier niveau d'aléa qu'il faut prendre en compte si l'on veut être sécuritaire. Comment évaluer et cartographier un tel aléa ?

On peut théoriquement, connaissant la répartition des surfaces d'altération et des zones hydromorphes, "dépister" les zones potentielles de désordres typiquement associées. Malheureusement s'il est possible de les cerner globalement sur une carte, à l'échelle du 1 / 10 000, il est en revanche beaucoup plus difficile d'en connaître la répartition dans le détail, en particulier d'accéder à des paramètres tels que la profondeur de la couche altérée ou l'importance des circulations d'eau, qui présentent une grande variabilité. Une telle investigation est souvent tributaire de la qualité des affleurements, des accès, etc. Si les phénomènes d'une relative importance, tels que ceux du lotissement des Jardins de Plum peuvent être perçus "a priori", d'autres à plus petite échelle ne seront découverts qu'a posteriori au moment des reconnaissances habituelles.

D'une manière générale il conviendra donc d'être vigilant dans ce type de contexte géologique (paléosurface altérée sur substrat volcano-sédimentaire) et morphologique (fond de vallon avec signes d'hydromorphie) et d'imposer des règles de pré-études et d'aménagement destinées à réduire les "mauvaises surprises".

Fig. 28 – Lotissement des Jardins de Plum : Données de terrain (1 / 5000)



5 – Carte des aléas

5.1 – Principe de réalisation

Il s'agit ici, après la phase analytique des précédents chapitres, de déterminer les critères de répartition des différents aléas recensés et de cartographier la plus ou moins grande probabilité d'occurrence et d'intensité des phénomènes pour établir un zonage permettant "in fine" aux autorités compétentes de classer les différents terrains dans le PUD du Mont-Dore.

Afin de rechercher une plus grande objectivité et une meilleure quantification dans l'évaluation de l'aléa et des facteurs d'instabilité, on fait appel aux outils SIG et en particulier à l'utilisation d'un Modèle Numérique de Terrain (MNT) pour déterminer les contours de certaines classes de pentes critiques, calculer les critères de proximité par rapport aux drains principaux, évaluer l'importance des débits théoriques dans les bassins versants et pour combiner de manière pondérée les données cartographiques entre elles. Nous avons utilisé pour cette étude un MNT à la maille de 10 m, issu de la numérisation des courbes de niveau de la carte DI3T à l'échelle du 1 / 10 000, garantissant une validité des résultats à cette échelle.

Les résultats de ces traitements numériques ne sont pas utilisés de manière brute et directe pour cartographier les aléas. Il s'agit de documents intermédiaires de travail. Il reste largement du ressort de l'expert de les interpréter et de les pondérer en s'appuyant sur sa base de connaissance. Au final, la carte d'aléas est réalisée en synthétisant toutes ces informations. Elle respecte lorsque cela est raisonnable les contours actuels du PUD de manière à ne pas introduire trop de changements.

L'aléa est habituellement qualifié en terme d'intensité de type faible, moyen, fort. **L'intensité représente un potentiel de dommage.** On la définit parfois comme une

fonction de l'importance et de l'ordre de grandeur du coût des mesures qu'il pourrait être nécessaire de mettre en œuvre pour s'en prémunir. A titre d'exemple on peut essayer de définir les niveaux d'intensité par les critères du tableau 1 ci-après.

Le niveau d'intensité nul, utilisé parfois en métropole, a été ici volontairement éliminé. Dans le contexte d'un pays à fort relief, à faible recul historique et soumis aux intempéries cycloniques, **nul ne peut écarter l'hypothèse d'un événement climatique majeur, déclenchant un phénomène sans précédent et entraînant des dégâts y compris en zone d'aléa minimal.**

Niveau d'intensité	Niveau d'importance des parades
Faible	Supportables financièrement par un propriétaire individuel
Moyen	Supportable financièrement par un groupe restreint de propriétaires
Fort	Intéressant une aire géographique débordant largement le cadre parcellaire, d'un coût très important et techniquement difficile

Tableau 1 – Exemple d'échelle conventionnelle d'intensité (d'après le Guide méthodologique des PPR, risques de mouvements de terrain)

A titre indicatif, nous suggérons ci-après quelques éléments réglementaires habituels et préconisations spécifiques assortissant généralement les cartes d'aléas (Guide méthodologique des PPR, risques de mouvements de terrain) :

Aléa d'intensité faible : constructible sous réserve des préconisations habituelles .

Aléa d'intensité moyenne : construction possible sous réserve de mesures spéciales de protection, gestion des eaux rigoureuse et de respect de la végétation.

Aléa d'intensité forte : zone inconstructible sauf pour accès et aménagements de nature à réduire les risques.

Deux types d'analyses ont été pratiqués pour évaluer les deux catégories de désordres précédemment analysés dans leur contexte géologique respectif : les "massifs miniers" d'une part, les "schistes" du substrat d'autre part.

Les différents types d'aléas qui sont pris en compte dans les "massifs miniers" sont :

- l'aléa de type **coulée boueuse et lave torrentielle** généré par l'environnement particulier du dôme latéritique surplombant les lotissements Mille et Berton. C'est le niveau maximal d'aléa présent dans la zone d'étude.

- l'aléa **écroulement en masse** qui caractérise le "paquet glissé" faisant face au col de Plum,

- l'aléa de type **arrachements et coulées de débris qui est le plus commun dans tout le massif.**

Le seul type d'aléa présent dans les "schistes" du substrat concerne **les glissements de terrain.**

Nous avons ajouté l'aléa lié au fonctionnement des torrents.

Rappelons que **les phénomènes les plus dangereux trouvent leur origine dans les "massifs miniers"** en raison de la nature du matériau mis en mouvement et des reliefs importants. Les désordres attendus en domaine de substrat volcano-sédimentaire sont en comparaison bien moindres. Il n'en demeure

pas moins que **le risque résultant dépend de la présence plus ou moins proche des enjeux.**

La prise en compte de ces enjeux n'est pas du ressort du technicien de l'aléa. Ce dernier ne décide pas de quelle manière doit être classée telle ou telle zone, ou si celle ci est constructible ou pas. 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. 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. C'est ainsi que sont établies les cartes de zonage des Plans de Prévention des Risques assorties d'un règlement, en Métropole.

Rappelons enfin que cette étude prend en compte l'aléa "mouvement de terrain". Cela concerne le domaine des versants et la partie amont et moyenne des torrents. L'aléa "inondation torrentielle" dans la partie basse des vallées, qui est toujours possible à l'occasion de fortes précipitations n'est pas pris pleinement en compte. Cette expertise relève plus du domaine de l'hydraulique que de la géologie. Tout au plus pouvons nous attirer l'attention sur ce phénomène lorsque des secteurs sont particulièrement exposés. 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 DER).

5.2 – Carte d'aléas et zonage PUD

Le zonage actuel du PUD, élaboré par l'Agence d'Urbanisme et d'Aménagement, la commune du Mont-Dore et la Direction des Ressources Naturelles de la Province Sud, nous a été fourni par le Service Topographique de la Province Sud. Il est présenté en figure 29. Trois grands types d'occupation du sol sont distingués :

- les zones urbanisées ou urbaines (UB, UI, UL, UR),
- les zones naturelles (NAB, NAI, NAR, ND),
- les zones de terres coutumières (A2).

Dans les zones naturelles on peut distinguer :

- les zones urbanisables pour le futur (NAB, NAI, NAR), qui sont le pendant des zones déjà urbanisées (UB, UI, UR),
- les zones de ressources naturelles (NC : agriculture, élevage, mines)
- et les zones protégées (ND).

Ces dernières se subdivisent en :

- zones littorales (NDli),
- zones de risques de glissements (NDrg) individualisées au vue d'études antérieures,
- zones inondables (NDri) en bordure de la coulée, la zone inondable de la rivière de Plum n'étant pas prise en compte du fait qu'aucune étude n'a pu y être réalisée.

En figure 30 est présentée la carte d'aléas. Les différents types d'aléas cartographiés sont :

- les aléas liés au massif minier (coulées de débris principalement),
- les aléas liés au substrat volcano-sédimentaire (glissements de terrain),
- les aléas liés au fonctionnement torrentiel.

Pour les aléas liés au massif minier, le critère de zonage principal est la nature géologique des terrains. La pente n'apporte pas d'information complémentaire puisqu'elle est corrélativement et systématiquement forte dans ce type de terrain. La zone d'aléa fort domine

dans ce type d'environnement. Elle correspond aux zones où sont susceptibles de se déclencher des phénomènes tels que les coulées de débris.

Pour les aléas liés au substrat, les critères de zonage sont l'état d'altération du substrat, tel que déterminable avec les moyens de l'étude (reconnaissance de surface dans les zones accessibles), et la pente. Dans ce contexte, l'aléa fort correspond aux zones dont les caractéristiques sont similaires aux zones de glissements connus ou dont la pente est supérieure à 30 %.

L'aléa torrentiel est représenté sous forme de "zones d'influences" de tailles proportionnelles au débit théorique des cours d'eau figurant sur les documents topographiques numériques disponibles. La largeur maximale de cette zone d'influence est de 50 mètres.

En figure 31, l'impact théorique du zonage d'aléas sur le PUD actuel est présenté. Les zones colorées en rouge correspondent à des zones urbanisées, urbanisables ou agricole du PUD qui tombent dans des zones d'aléas fort en domaine de massif minier ou de substrat. Ces zones devraient faire l'objet d'un nouveau classement dans le PUD. Les zones colorées en orange correspondent à des zones urbanisées, urbanisables ou agricole du PUD qui tombent dans des zones d'aléas moyen en domaine de massif minier ou de substrat. Le classement de ces zones doit faire l'objet d'une discussion. Les zones colorées en vert correspondent à des zones urbanisées, urbanisables ou agricole du PUD qui tombent dans des zones d'aléas faibles. Ces zones ne présentent en principe pas de problème particulier de classement.

Fig. 29 - Zonage actuel du Plan d'Urbanisme et de Développement autour du massif du Mont-Dore

(Source : PUD en cours d'instruction (2001),
Province Sud,
Agence d'Urbanisme et d'Aménagement,
Commune du Mont-Dore,
Service Topographique de la Province Sud)

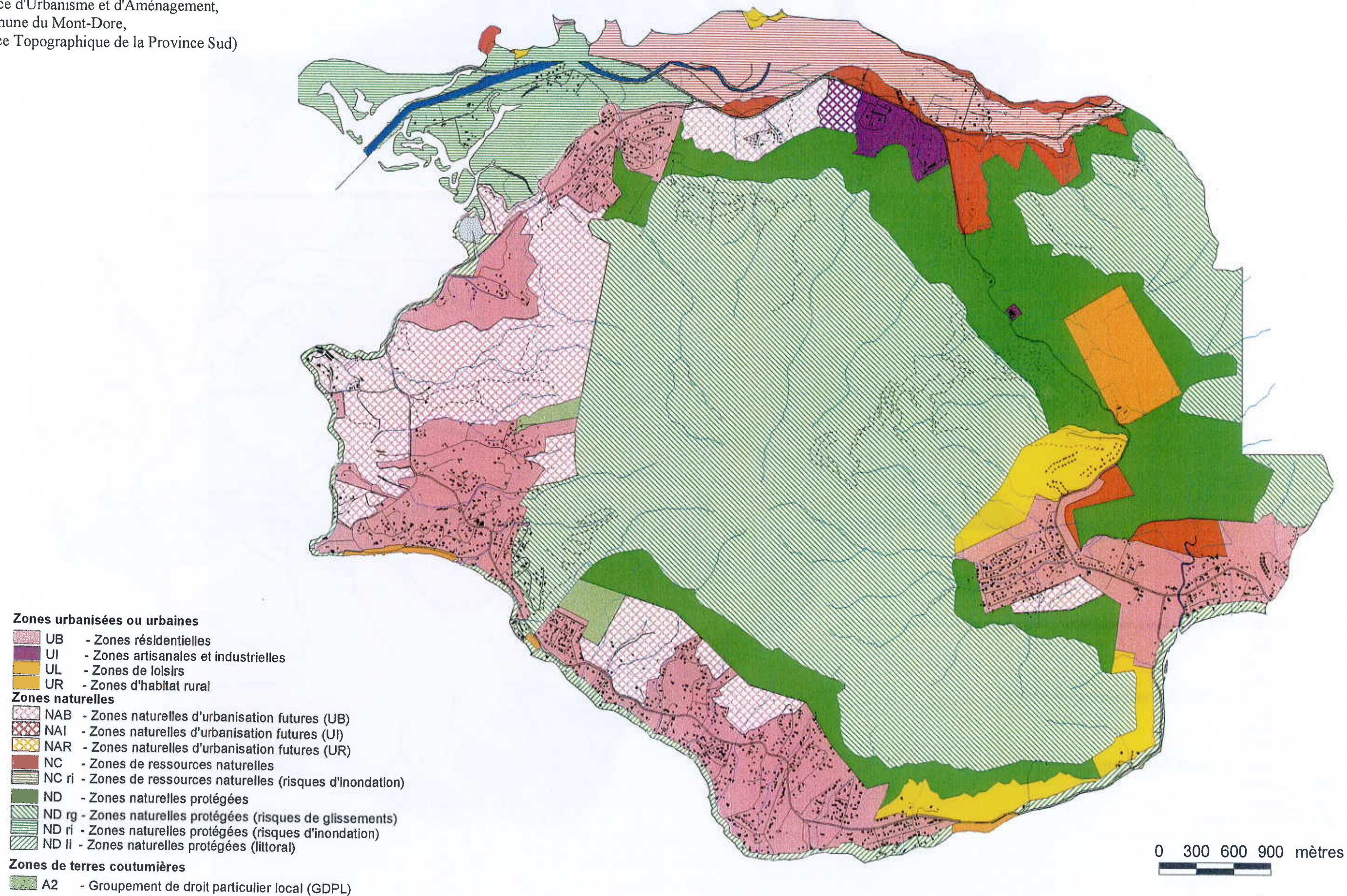


Fig. 30 - Carte d'aléas de la zone du Mont-Dore

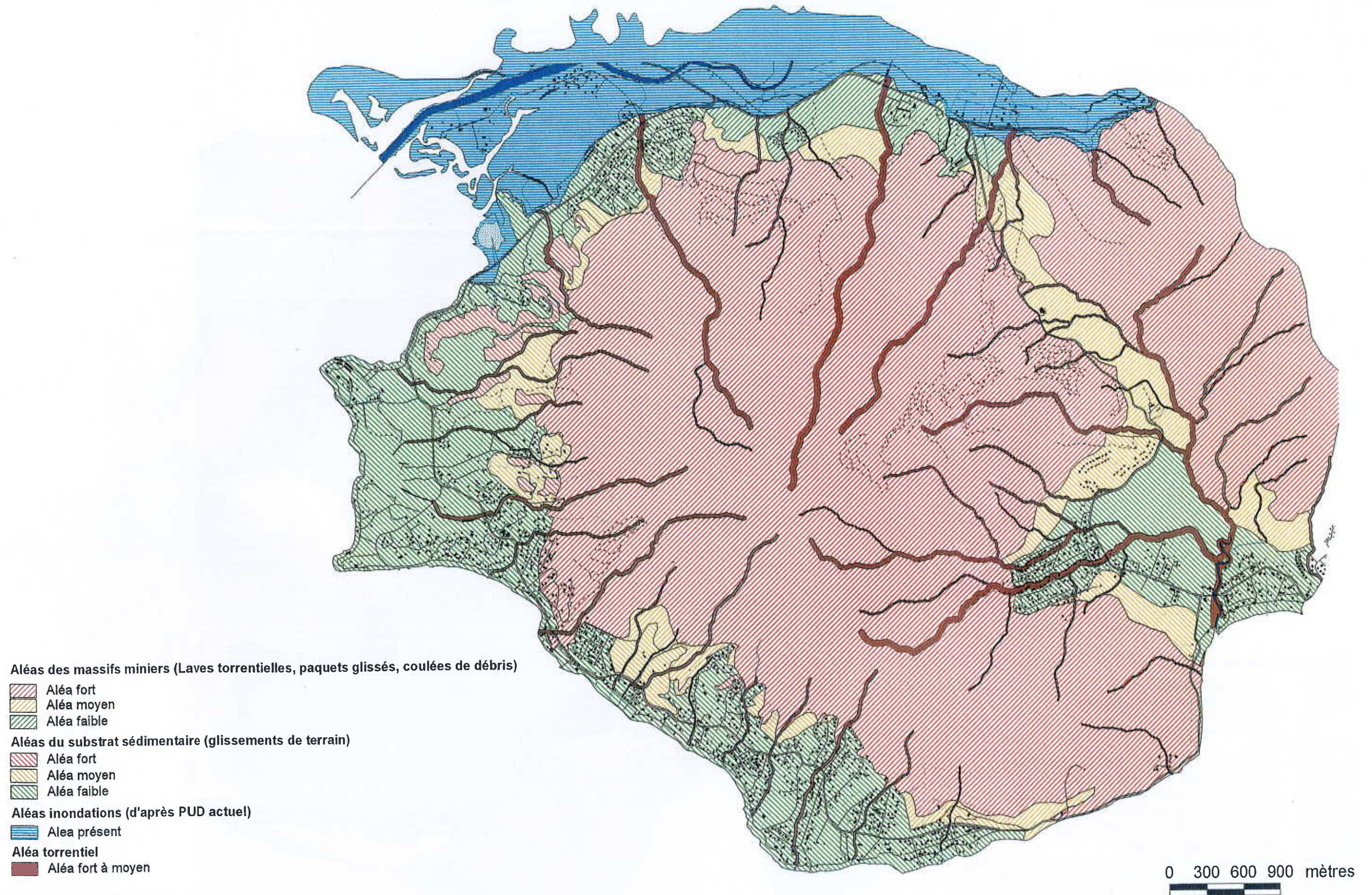
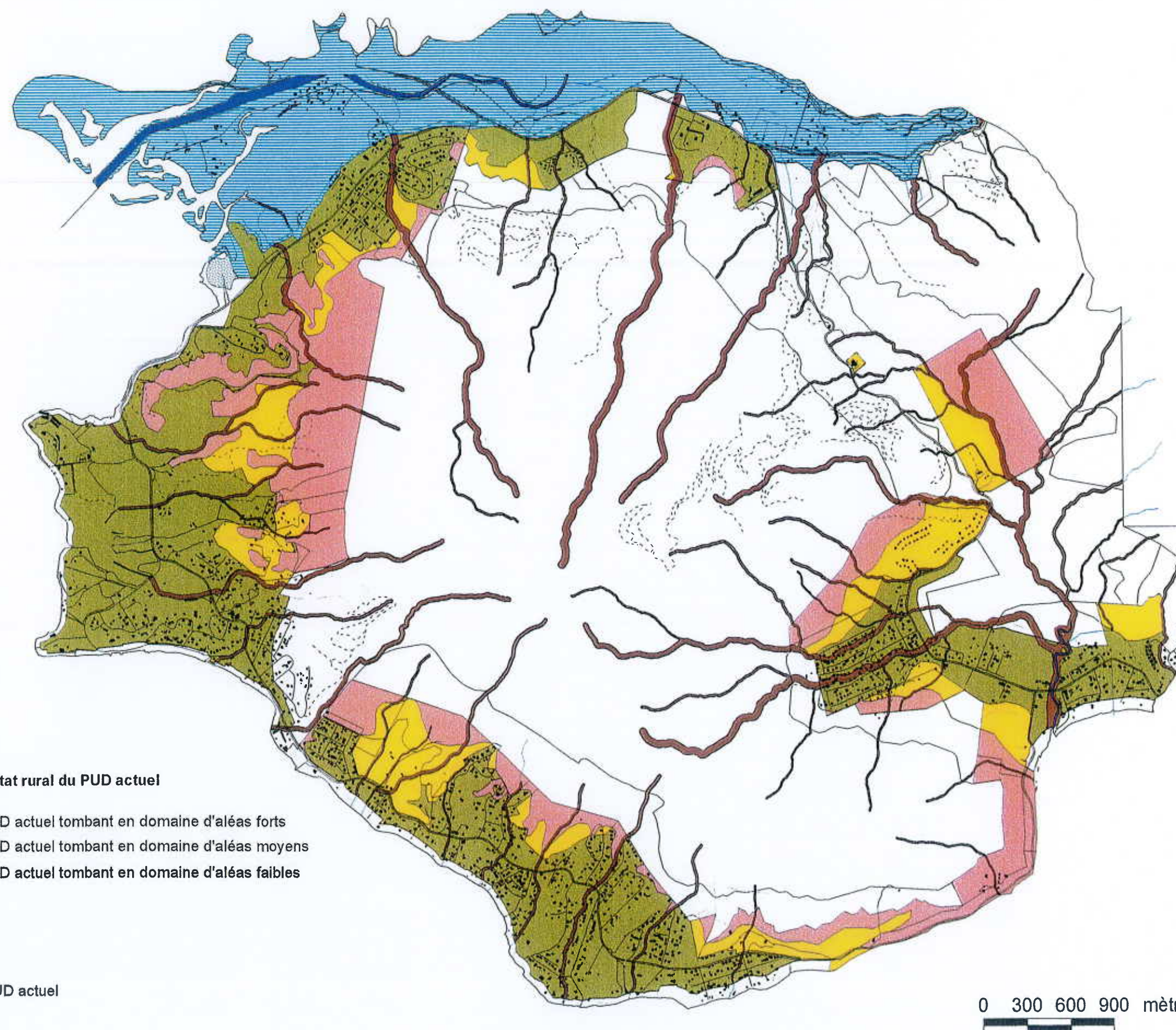


Fig. 31 - Impact de la carte des aléas sur le Plan d'Urbanisme et de Développement de la zone du Mont-Dore



Références bibliographiques

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, Erosion, 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., Grasz 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 (DGHUC). La documentation française.

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

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.

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.

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.

Guy B., Moutte J., Lajoie J.P., Vogt J., 1977, Evolution 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.

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 Îles Salomon), Thèse Doctorat d'Université.

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., 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.

Maurizot P., 1990, Commune de terrain 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.

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.

Noesmoen A., 1970, Carte et notice explicative à l'échelle du 1 / 50 000, feuille Nouméa, Territoire de Nouvelle-Calédonie, BRGM.

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'Économie Rurale.

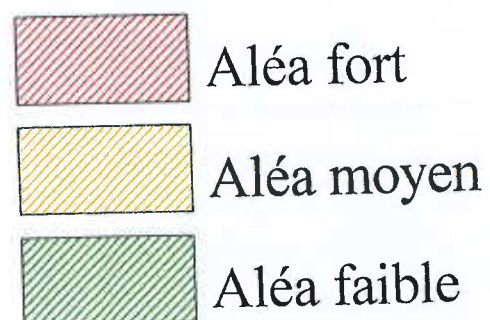
Riondy G., 1990, Etudes géologique et géotechnique préliminaire de trois zones affectées par des mouvements de terrains, Rapport BRGM n° 30690 GEG 4S 90.

Annexe 1

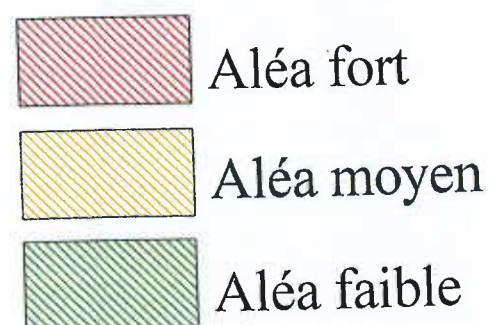
Carte d'aleas à l'échelle du 1 / 10 000

Légende des planches 1 à 10

Aléas des massifs miniers (laves torrentielles, paquets glissés, coulées de débris)



Aléas du substrat sédimentaire (glissements de terrain)



Aléas inondations (d'après PUD actuel)



Aléa torrentiel

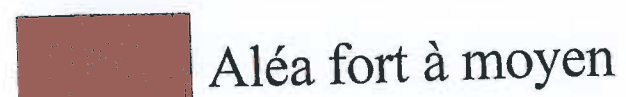


Planche 1

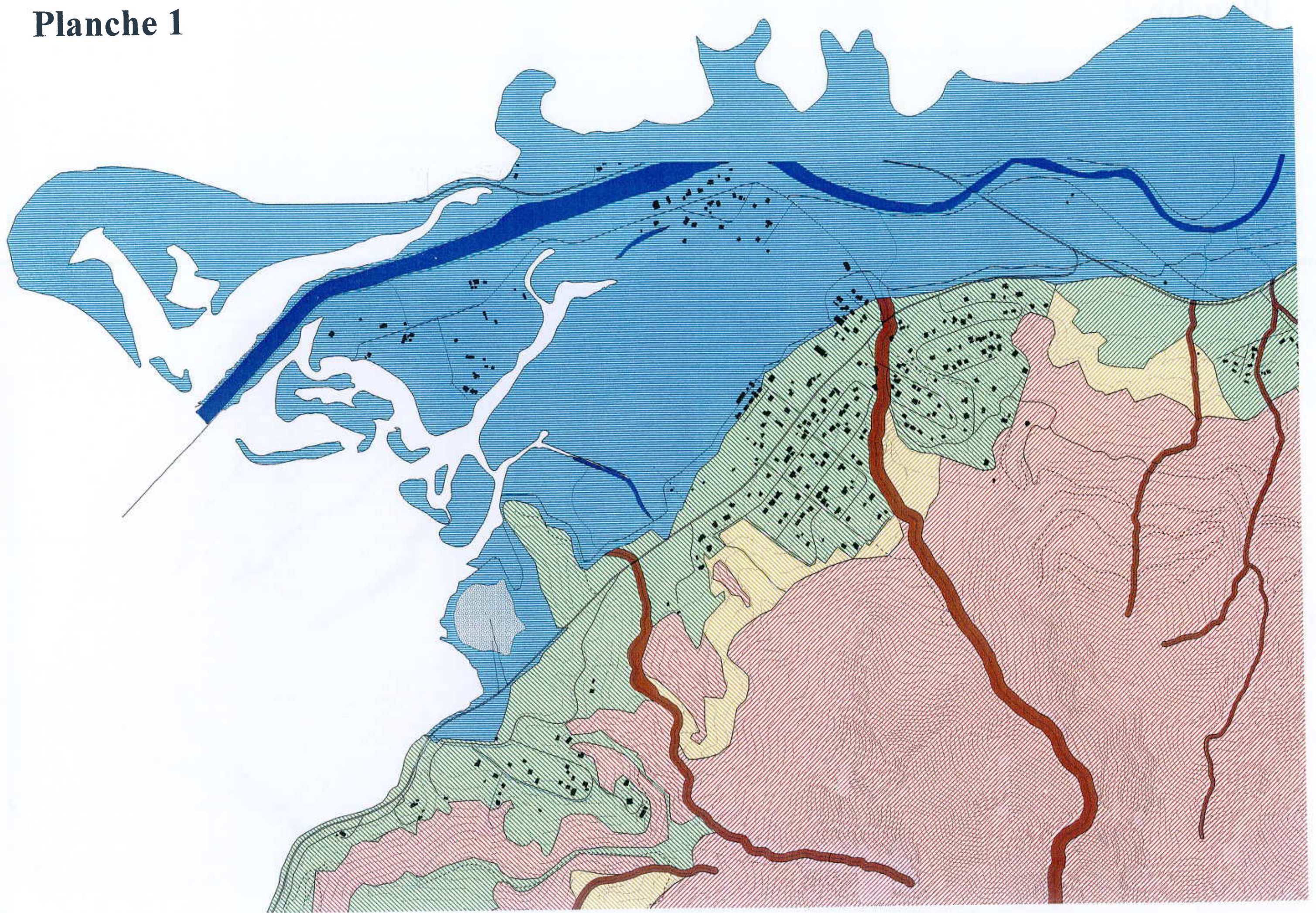
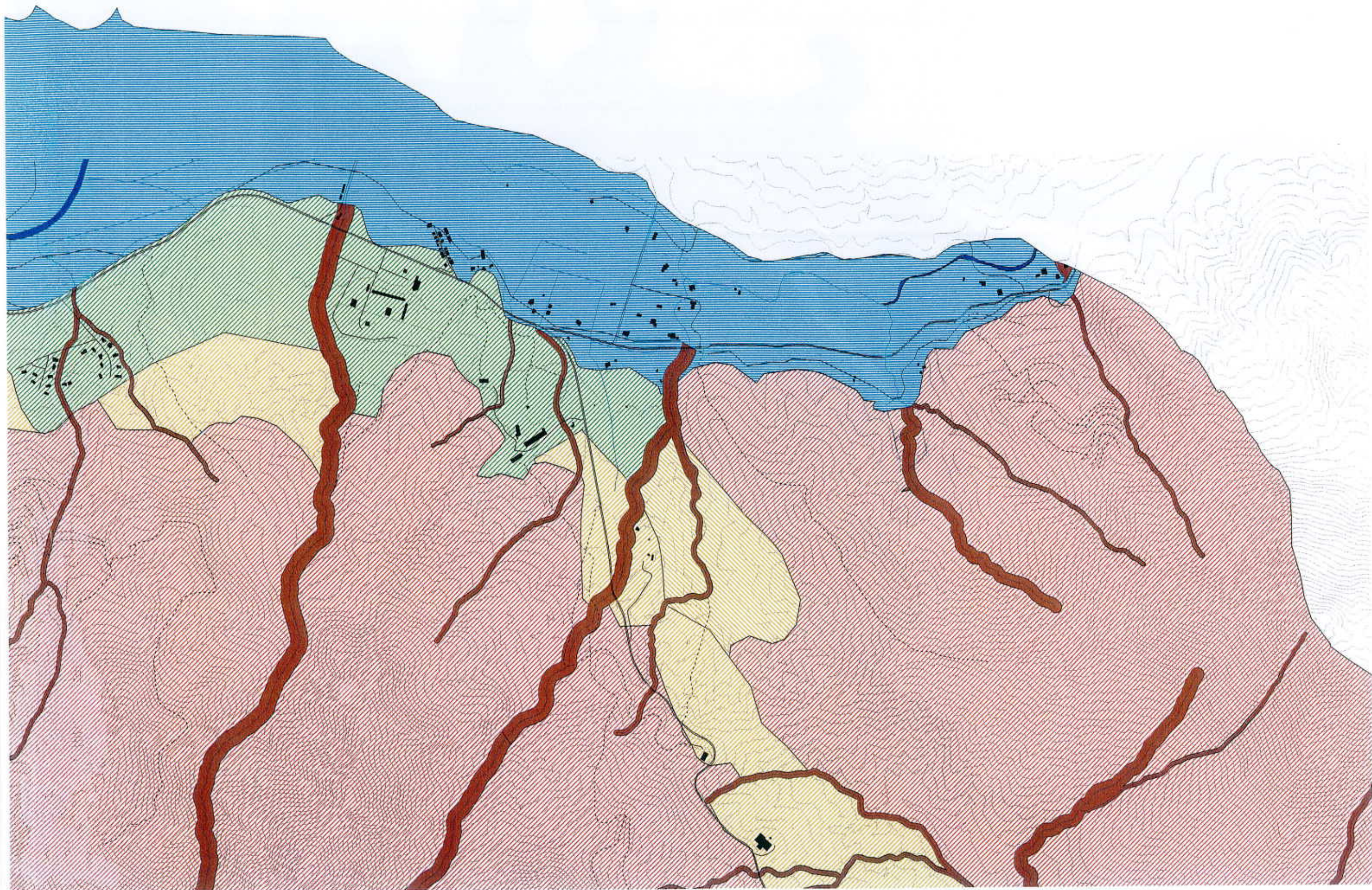


Planche 2



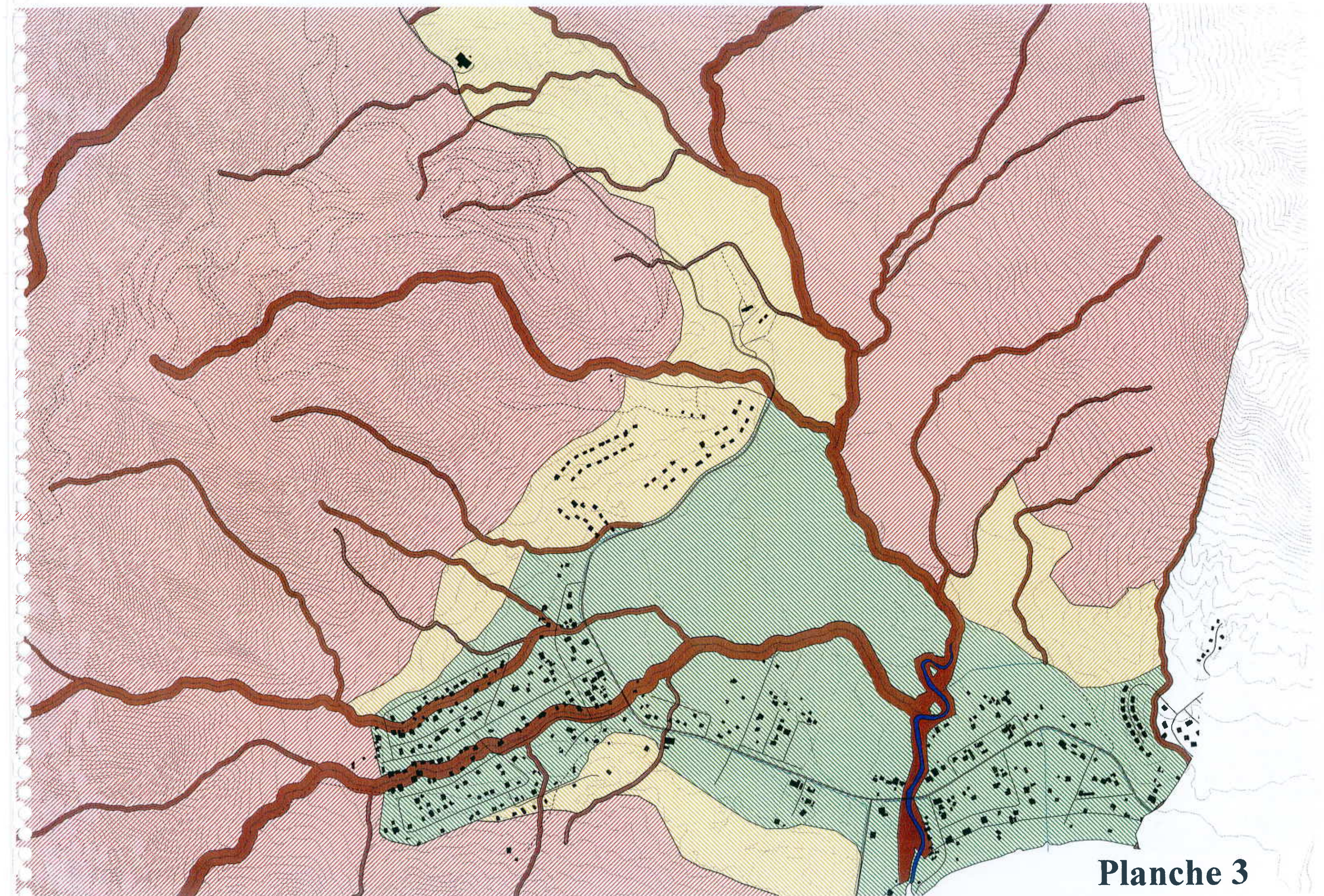


Planche 3



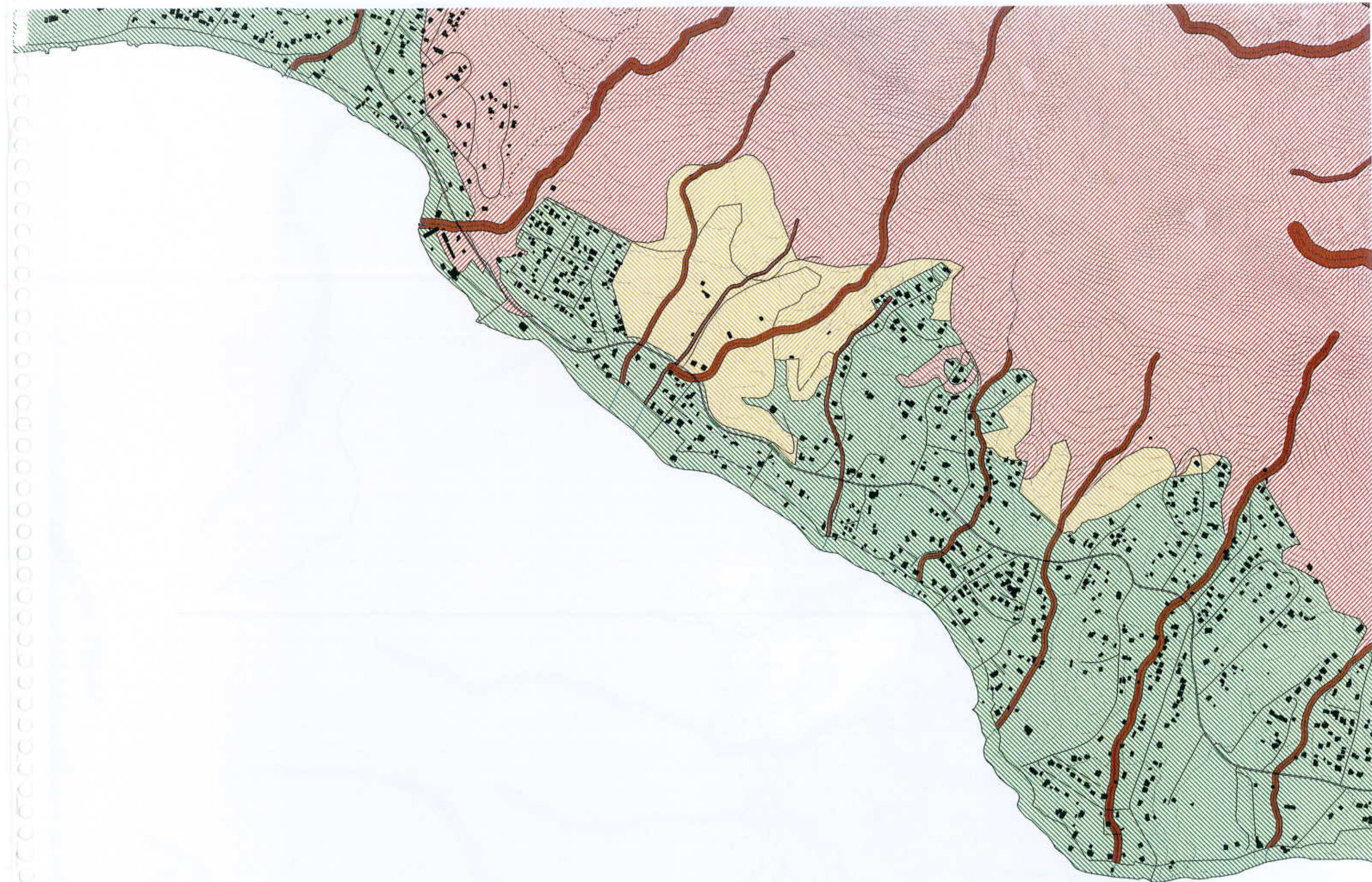


Planche 5

Planche 6

