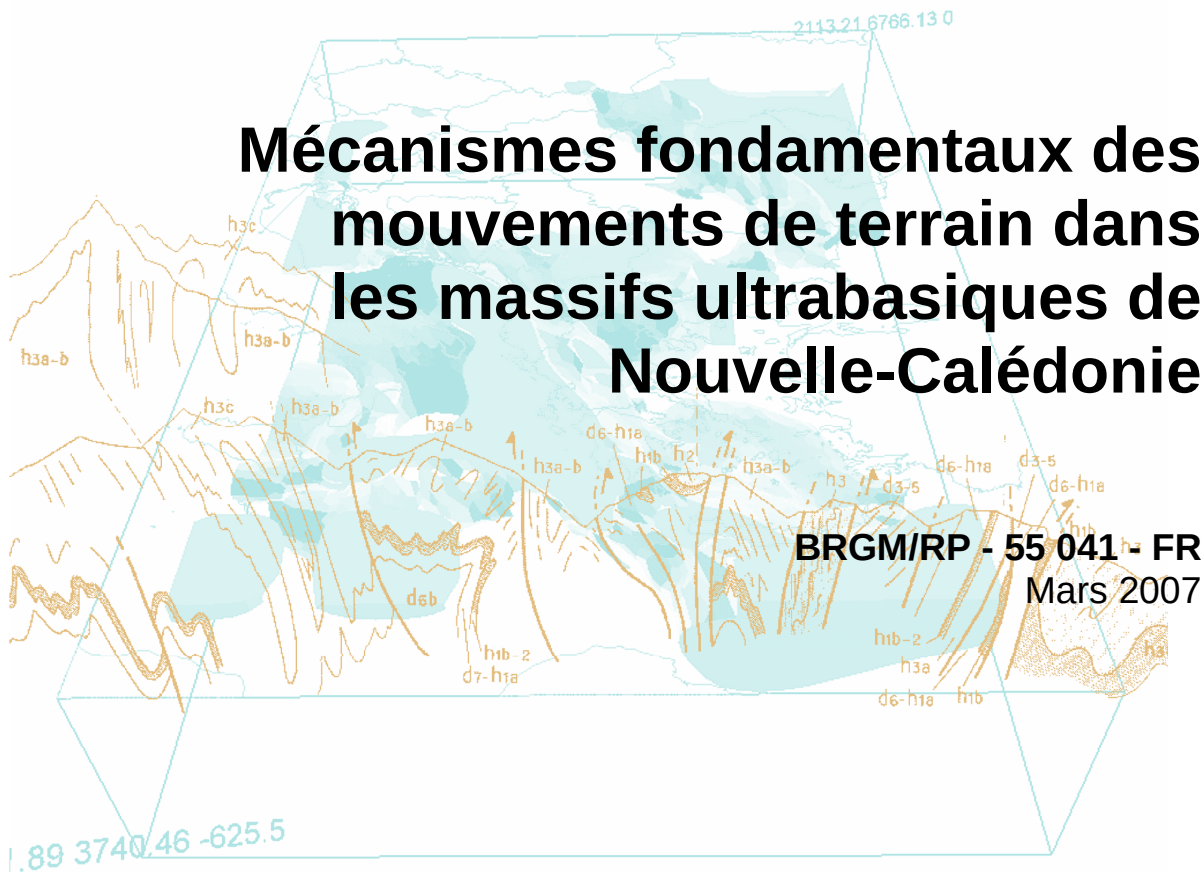




Mécanismes fondamentaux des mouvements de terrain dans les massifs ultrabasiques de Nouvelle-Calédonie

Rapport final

BRGM/RP – 55 041 - FR

Mars 2007

P. Maurizot, I. Rouet, B. Robineau, M. Allenbach, J.C. Parisot

Mots clés : Nouvelle-Calédonie, mouvement de terrain, péridotite, latérite, glissement.

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

Maurizot P., Rouet I, Robineau B., Allenbach M., Parisot J.C. (2007) – Mécanismes fondamentaux des mouvements de terrain dans les massifs ultrabasiques de Nouvelle-Calédonie. Rapport BRGM RP – 55 041 - FR.

© BRGM, 2007, ce document ne peut être reproduit en totalité ou en partie sans l'autorisation expresse du BRGM.

Synthèse

Le groupement de recherche Bureau de Recherches Géologiques et Minières (BRGM), Institut de Recherche pour le Développement (IRD) et l'Université de Nouvelle-Calédonie (UNC) ont proposé au Ministère de l'Outre-Mer (MOM) de mener une étude approfondie, sur un type particulier de glissements de grande ampleur communs dans les massifs de péridotites.

Au front des massifs de péridotites mais aussi dans les vallées principales, d'anciennes morphologies d'effondrements fossiles, de grandes ampleurs (kilométriques), sont souvent visibles. Une partie importante des mouvements de terrain actuels correspond à la réactivation de ces structures anciennes.

Le présent projet a permis :

- de réaliser une cartographie des anciennes morphologies d'effondrement par télédétection et observation directe (moyens hélicoptères),
- d'étudier plus précisément la zone de glissement du Mont-Dore, modèle de masse effondrée de grande ampleur réactivée sur ces bordures, étant à la fois la plus sensible en termes de risque et la plus accessible en termes logistiques.

Sur la zone pilote du Mont-Dore, ont été réalisés :

- une cartographie géologique de détail,
- des profils de tomographie de résistivité électrique permettant d'accéder à la structure profonde (< 100 m) de l'ancienne masse glissée,
- l'implantation d'un réseau de points suivis par dispositif DGPS pour déceler d'éventuels mouvements en masse.

La reconnaissance et la cartographie des anciennes morphologies d'effondrement dans le massif du Sud a permis de délimiter plus de 200 objets. Les versants affectés par les effondrements en masse sont dirigés principalement vers le Sud.

Concernant la zone spécifique du Mont-Dore, la cartographie met en évidence la latéritisation profonde de l'ensemble et de nombreuses anciennes coulées de débris dont certaines isolées en butte témoin attestant que les phénomènes d'instabilité dans cette zone sont une constante au cours du temps.

La géophysique (tomographie de résistivité électrique) confirme l'existence du contact majeur entre la masse de péridotites glissées et le massif en place sans pour autant résoudre sa géométrie.

Un réseau de points a été implanté sur le dôme. Les positions de ces points n'ont été pour l'instant mesurées que deux fois (en 2005 et en 2006). Quelques mouvements supérieurs à la précision de la mesure (2 cm) sont enregistrés sans que l'on puisse dire s'ils sont significatifs.

Sommaire

1. Cadre et objectif du projet	11
2. Moyens mis en œuvre et travaux effectués	13
3. Cartographie des anciennes zones d'effondrement.....	14
3.1. SPECIFICITE DES RISQUES EN NOUVELLE-CALEDONIE	14
3.2. CARTOGRAPHIE DES ANCIENNES ZONES D'EFFONDREMENT.....	15
3.2.1. Description de quelques cas remarquables	17
3.2.2. Données statistiques.....	24
3.2.3. Typologie	25
3.3. LE DOME EFFONDRE DU MONT-DORE	27
3.3.1. Description des phénomènes actuels	33
3.3.2. Contexte géologique	33
3.4. CARTOGRAPHIE GEOLOGIQUE DETAILLEE	33
3.5. ETUDE GEOPHYSIQUE PAR TOMOGRAPHIE DE RESISTIVITE ELECTRIQUE	36
3.5.1. Rappels méthodologiques.....	36
3.5.2. Travaux effectués	37
3.5.3. Résultats bruts.....	38
3.5.4. Coupes géologiques de référence	39
3.5.5. Interprétation géologique des coupes géoélectriques	40
3.5.6. Apport de la géophysique à la connaissance de la structure du dôme .	41

3.6. ETUDE DES MOUVEMENTS ACTUELS PAR GPS DIFFERENTIELS.....	43
3.6.1. Rappels méthodologiques.....	43
3.6.2. Travaux effectués	43
3.6.3. Premiers résultats	44
4. Conclusions.....	47
5. Bibliographie.....	48

Liste des illustrations

Figure 1 - Carte des zones d'effondrement de grande ampleur dans la massif du Sud	16
Figure 2 - Ancienne masse effondrée du mont Mou	18
Figure 3 - Carte géologique détaillée de la zone d'effondrement du Mont Mou (in Maurizot et Lafoy, 1999).	19
Figure 4 - Ancienne masse effondrée de la vallée Carnot et du Mont Koghi	21
Figure 5 - Carte géologique détaillée de la zone d'effondrement de la vallée Carnot et du Mont Koghi (in Maurizot & Lafoy, 1998)	22
Figure 6 - Vue oblique depuis le Sud des anciens effondrements (trace des plans de détachement en rouge) sur le flanc ouest du massif du Sud au-dessus de Boulouparis (photo US Army, 1944).	23
Figure 7 - Classes d'orientation des objets cartographiés.....	24
Figure 8 - Schématisation des différentes configurations connues de glissements en masse sur les versants du Massif du Sud et références à quelques localités types.....	26
Figure 9 - Photographie au lendemain de la coulée au-dessus des lotissements Mille et Berton.....	28
Figure 10 - Photo du front de la coulée au niveau des lotissements Mille et Berton (vue aérienne du Sud).	28
Figure 11 - Photographie montrant les deux glissements en 1990 pendant la construction des ouvrages de confortement.....	29
Figure 12 - Vue aérienne du dôme de péridotite altéré (ceinturé en jaune pointillé) du Mont-Dore, situé au-dessus des lotissements Mille et Berton.....	30
Figure 13 – Vue oblique du dôme du Mont-Dore au-dessus des lotissements Mille et Berton en 2000, vu d'hélicoptère (photographie M. Baillaut, GéoEx).....	31
Figure 14 – Hypothèse sur l'origine du dôme du Mont-Dore (in Riondy, 1990)	32
Figure 15 - Carte géologique détaillée de la zone des glissements du Mont-Dore.....	35
Figure 16 - Schéma de mise en place du dispositif (Loke, 1997).....	36
Figure 17 - Schéma explicatif de la construction de la pseudo section(Loke, 1997).	37
Figure 18 - Profils de résistivité sur le dôme du Mont-Dore : Résultats bruts.	38
Figure 19 - Interprétation géologique.....	39
Figure 20 - Profils de restivité : Interprétation géologique des horizons électriques	42
Figure 21 - Plan de positionnement des points de contrôle DGPS sur le dôme du Mont-Dore.	46

Liste des tableaux

Tableau 1 - Positionnement du point géodésique de rattachement NOUM	43
Tableau 2 - Coordonnées 2005 pour les stations fixes (bases)	44
Tableau 3 - Coordonnées 2006 pour les stations fixes (bases)	44
Tableau 4 - Ecart entre les coordonnées 2006 et 2005 des points de base	44
Tableau 5 - Ecart entre les coordonnées 2006 et 2005 des points de contrôles	45

1. Cadre et objectif du projet

Depuis 1998, un programme de **cartographie des risques naturels concernant les mouvements de terrain et l'érosion**, a été entrepris en Nouvelle-Calédonie, à la demande de l'Etat, compétent dans le domaine de la sécurité civile et en réponse aux dégâts récurrents occasionnés par le passage des cyclones et dépressions tropicales. Ce programme est financé par la Nouvelle-Calédonie et la dotation d'Etat du Bureau de Recherches Géologiques et Minières. Il est réalisé par le Bureau de Recherches Géologiques et Minières.

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

Cependant après six années de programmation, le besoin s'est fait ressentir de remonter aux mécanismes fondamentaux d'instabilité des phénomènes répertoriés, pour mieux prévoir leurs survenues et affiner la prédiction des zones à risque. Ce besoin de recherche amont au niveau des risques géologiques a été clairement exprimé lors des dernières Assises de la Recherche Française dans le Pacifique et du Point d'Etape suivant (août 2004, octobre 2006).

L'association Bureau de Recherches Géologiques et Minières (BRGM), Institut de Recherche pour le Développement (IRD) et l'Université de Nouvelle-Calédonie (UNC) ont donc proposé au Ministère de l'Outre-Mer (MOM) de mener une étude approfondie, sur un type particulier de glissements de grande ampleur communs dans les massifs de péridotites. Cette étude vient enrichir le travail de thèse entrepris sur les mouvements de terrain par I. Rouet, co-dirigée par l'Université de Nouvelle-Calédonie et l'Institut de Recherche pour le Développement : **"Caractérisation et éléments de quantification d'aléas naturels liés à l'évolution des versants en Nouvelle-Calédonie"** (Isabelle Rouet, allocataire "Prix d'encouragement à la Recherche", Province Sud).

Les phénomènes de mouvements de terrain sont nombreux en Nouvelle-Calédonie et chaque cyclone apporte son cortège de dégâts : la gamme de désordres est très diverse, avec des glissements, des écroulements, des coulées de débris, des coulées boueuses, des zones de forte érosion avec ravinement actif à l'amont et engravement des cours d'eau à l'aval, des zones de débordement torrentiel. Les cas les plus graves consistent en coulées de "laves torrentielles" destructrices.

Les désordres les plus dangereux sont issus des massifs ultrabasiques formant les principaux reliefs de la Grande-Terre, fragilisés par une serpentinisation, une altération profonde et un héritage tectonique importants. Au front des massifs de péridotites mais aussi dans les vallées principales, d'anciennes morphologies d'effondrements fossiles, de grandes ampleurs (kilométriques), sont souvent visibles. Les plus remarquables se trouvent sur le front SW et NW du massif du Sud depuis le Mont-Dore jusqu'à Thio. Il semble que ces structures se sont formées avant la période quaternaire lors d'épisodes climatiques spécifiques.

La plupart des mouvements de terrain actuels correspond à la réactivation de ces structures anciennes. L'urbanisation des grandes plaines côtières progresse inéluctablement vers ces zones de risque. L'un des cas le plus caractéristique de ce type de glissement se trouve au Mont-Dore qui a fait l'objet d'une étude détaillée.

2. Moyens mis en œuvre et travaux effectués

Si l'on veut mieux maîtriser les phénomènes actuels, il est nécessaire d'acquérir une bonne connaissance de ces anciennes masses déstabilisées. Le projet prévoyait en conséquence :

- de réaliser une cartographie des anciennes morphologies d'effondrement par télédétection et observation directe (moyens hélicoptères),
- d'étudier plus précisément la zone de glissement du Mont-Dore, modèle de masse effondrée de grande ampleur réactivée sur ces bordures, étant à la fois la plus sensible en termes de risque et la plus accessible en termes logistiques.

Sur la zone pilote du Mont-Dore, il était prévu plus particulièrement :

- d'accéder à la structure profonde (< 100 m) de l'ancienne masse glissée par géophysique (tomographie de résistivité électrique),
- d'implanter un réseau de points de mesures et de les suivre dans le temps avec une haute précision (GPS différentiel) pour détecter les mouvements actuels.

Toutes ces tâches ont été réalisées et les résultats en sont exposés ci-après. Il était également prévu dans la proposition initiale d'étudier l'état des matériaux dans les zones de glissement, ce qui n'a pu être réalisé étant donné le financement partiel accordé.

3. Cartographie des anciennes zones d'effondrement

3.1. SPECIFICITE DES RISQUES EN NOUVELLE-CALEDONIE

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

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

L'un des traits géologiques fondamentaux de la Grande Terre est constitué par les grandes étendues des massifs de péridotites (1/3 de sa surface). La plupart des risques naturels dangereux leur sont liés. Ces massifs sont en position topographique dominante. L'altération propre au milieu tropical fragilise à divers degrés ces formations particulières. La roche mère est profondément transformée en latérite, résidu terreux et meuble, constitué en majorité d'oxy-hydroxydes de fer, formant un manteau épais parfois de plusieurs dizaines de mètres.

Les mouvements de terrains générés dans les massifs de péridotites sont beaucoup plus importants que ceux du domaine volcano-sédimentaire, en nombre, en dimension, en volume, en énergie et donc en dangerosité. Ce saut quantitatif de l'aléa en domaine de péridotites résulte de leur relief plus important, de leur plus grande altération, des précipitations plus abondantes enfin.

La synthèse des études entreprises à ce jour sur les mouvements de terrain dans les massifs de péridotites permet de dresser le constat suivant :

- Il y a une association des phénomènes dans l'espace (multiplication des désordres de différents types dans une même région) et dans le temps (répétitivité des phénomènes). Ceci est illustré par l'exemple de la zone des glissements du Mont-Dore, où des phénomènes complexes (glissements puis lave torrentielle en 1988, glissement - coulée en 1990) se succèdent et se superposent.
- La répétitivité dans le temps est souvent soulignée par d'anciennes manifestations "fossilisées". La plupart des désordres actuels recensés dans

les massifs de péridotites correspondent à la réactivation sur leurs bordures d'anciennes structures de grande ampleur. Ces anciennes structures, dont l'existence s'est imposée au fur et à mesure de l'inventaire des désordres actuels, sont détectables par une approche géomorphologique.

L'un des meilleurs exemples de structure ancienne de grande ampleur re-activée sur ses bordures est constituée par le dôme surplombant les lotissements Mille et Berton au Mont-Dore. Dès 1990, l'hypothèse est faite que ce dôme correspond à un panneau détaché du massif du Mont-Dore (Figure 14 et [Riondy, 1990](#)). Cependant cette analyse locale n'est pas étendue au reste des massifs de péridotite. Il apparaîtra par la suite (lors de l'inventaire des mouvements de terrain entrepris par le BRGM et la DIMENC, puis du travail de thèse d'Isabelle Rouet) qu'un tel dispositif n'est pas unique et que de nombreuses morphologies de grande ampleur sont visibles sur les flancs de ces massifs.

Une bonne connaissance de ces anciennes structures doit permettre une amélioration de notre compréhension des mouvements de terrain actuels.

3.2. CARTOGRAPHIE DES ANCIENNES ZONES D'EFFONDREMENT

Les objets à cartographier étant de tailles pluri-hectométriques et la zone d'étude très vaste (partie montagneuse du massif du Sud), il a été nécessaire de trouver un mode opératoire simple et homogène. Ces objets anciens, souvent couverts de forêt tropicale, devaient donc être étudiés sur des bases géomorphologiques essentiellement.

L'analyse a été conduite en couplant l'étude de vues aériennes verticales et obliques aux données géologiques au 1/50 000 existantes et à l'exploitation d'un modèle numérique de terrain (MNT) à maille 10 mètres. Ce dernier a été généré à partir des informations d'altitudes de la BD Topo à l'échelle du 1 / 10 000 de la Direction des Infrastructures, de la Topographie et des Transports Terrestres (DI3T). L'analyse morphologique a été menée sur des images d'ombrages avec éclairage selon huit directions cardinales pour mettre en valeur les morphologies dans différents contextes d'orientation. Des jeux de photographies aériennes ont également été utilisées (Photo US de 1944, et IGN de 1976). Le report cartographique s'est effectué sous SIG avec un repérage précis. Une validation terrain a été effectuée par hélicoptère sur tout le front du massif du Sud entre Nouméa et Bouloupari, ainsi que dans la vallée de la Tontouta.

Le résultat de cette cartographie est présenté dans la figure 1. Près de 200 objets géomorphologiques correspondant à d'anciens mouvements de terrain de grande ampleur ont pu être ainsi dénombrés.

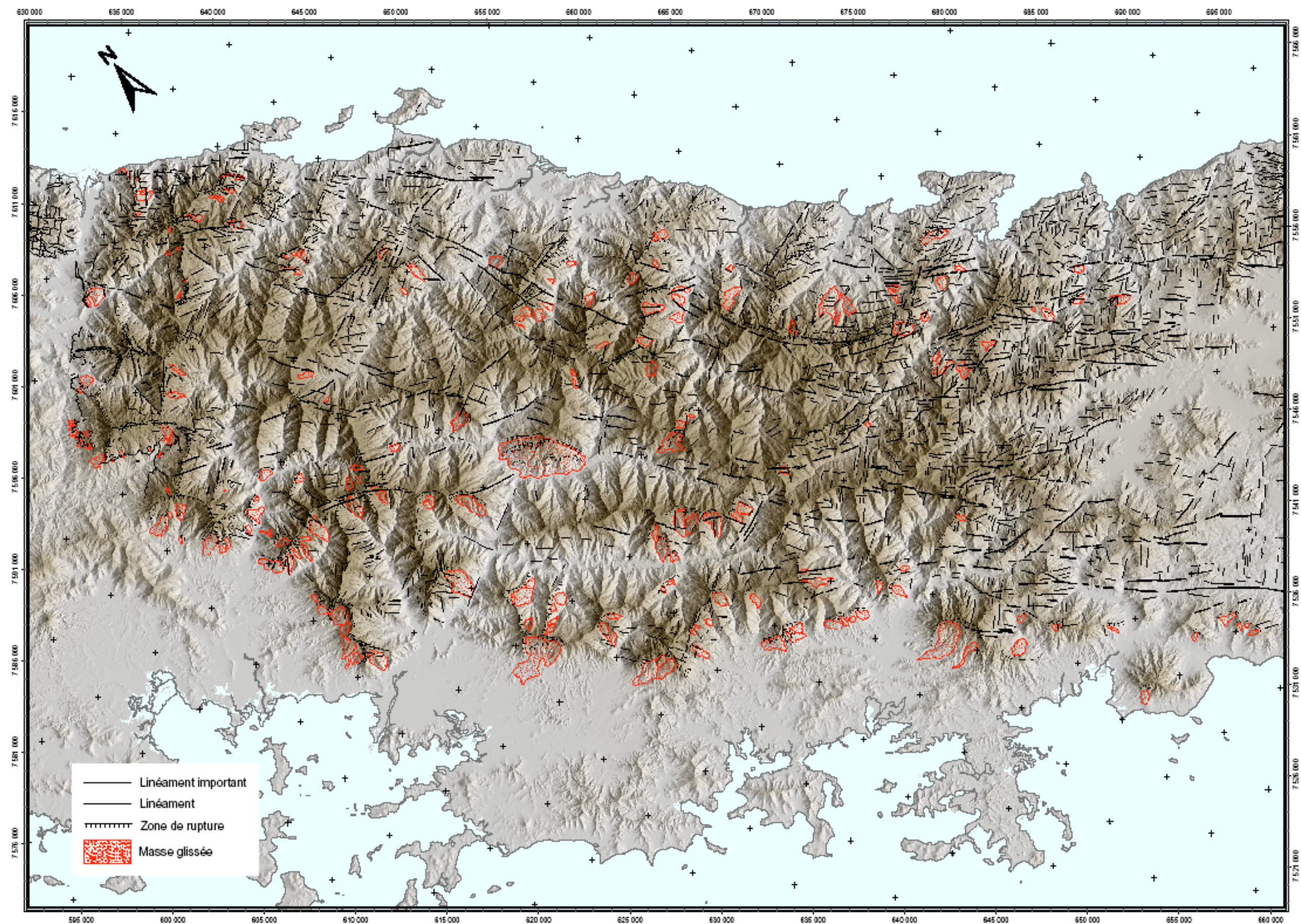


Figure 1 - Carte des zones d'effondrement de grande ampleur dans la massif du Sud

3.2.1. Description de quelques cas remarquables

Quelques cas remarquables de masses effondrées de grande ampleur sont présentés ici à titre d'illustration. Dans un deuxième temps une classification typologique et statistique sera proposée.

Les objets analysés ont des contours en plan semi-circulaires et en profil sont concaves à l'amont et convexes à l'aval. On distingue en général de l'amont vers l'aval les éléments morphologiques suivants classiques des zones de glissement :

- un cirque de parois rocheuses abruptes représentant la partie amont du plan de détachement;
- une niche d'arrachement ou des niches d'arrachement se relayant et s'emboîtant vers l'aval, de forme semi-circulaire en plan et en coupe, dont la concavité est tournée vers l'aval, représentant la zone de contact entre la masse in situ à l'amont et la masse effondrée à l'aval;
- une zone d'accumulation convexe de matériaux effondrés généralement altérés;
- un front aval d'accumulation formant parfois bourrelet; c'est dans ce secteur en déséquilibre que les instabilités actuelles se manifestent le plus fréquemment;
- un cortège de coulées de débris et d'alluvions torrentielles représentant les produits les plus avals de remaniement de la masse instable qui peuvent remplir les vallées ou napper les versants situés en contrebas.

Exemple du mont Mou

Les masses glissées anciennes visibles sur le flanc sud-ouest du Mont-Mou sont particulièrement éloquentes (Figure 2). Leur morphologie est typique, avec une zone de rupture amont abrupte et une masse glissée convexe, en pente douce, latéritique en surface, à l'aval. La géométrie de la niche d'arrachement est très anguleuse et probablement guidée par des plans pré-existants. La cartographie géologique détaillée ([Maurizot et Lafoy, 1999](#)) est présentée en figure 3.

Il est à remarquer que la partie aval du système, en rive gauche de la Tamoa est en voie d'urbanisation, avec plusieurs lotissements. D'anciennes coulées latéritiques à blocs de péridotite ont été relevées localement en contrebas, en bordure de la Nennou. Le secteur est indemne de travaux miniers. Le massif culmine à 1106 m, alors que, à 3 km vers l'ouest à vol d'oiseau, les zones actuellement loties, en bordure de la Nennou et de la Tamoa sont à la côte 100 m, ce qui donne une pente moyenne de 33 % entre ces deux extrêmes.

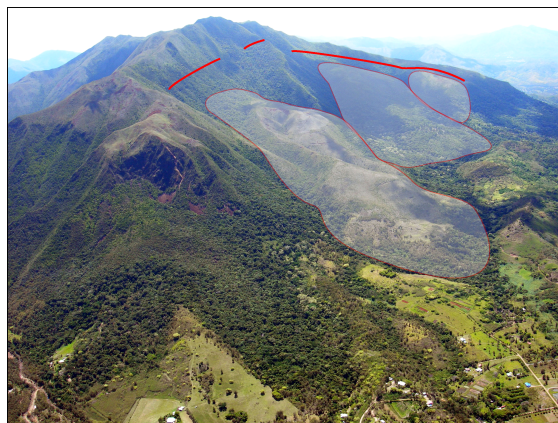
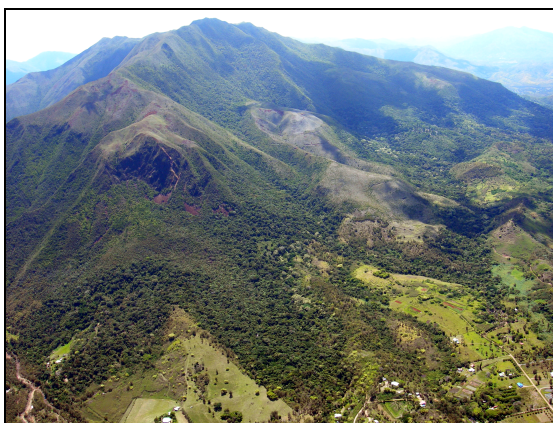
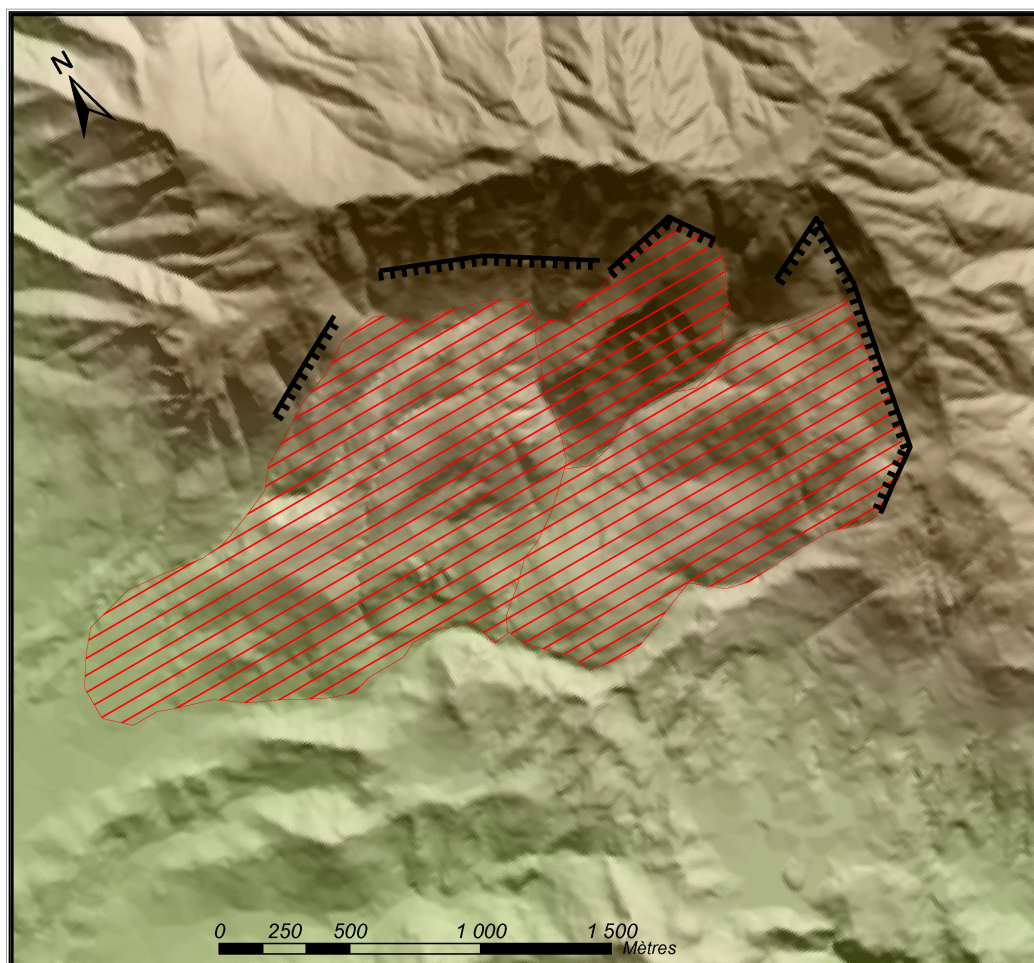


Figure 2 - Ancienne masse effondrée du mont Mou
 En haut morphologie générale; en bas à gauche, vue d'hélicoptère depuis le NW; en bas à droite, vue identique avec contourage de la masse effondrée.

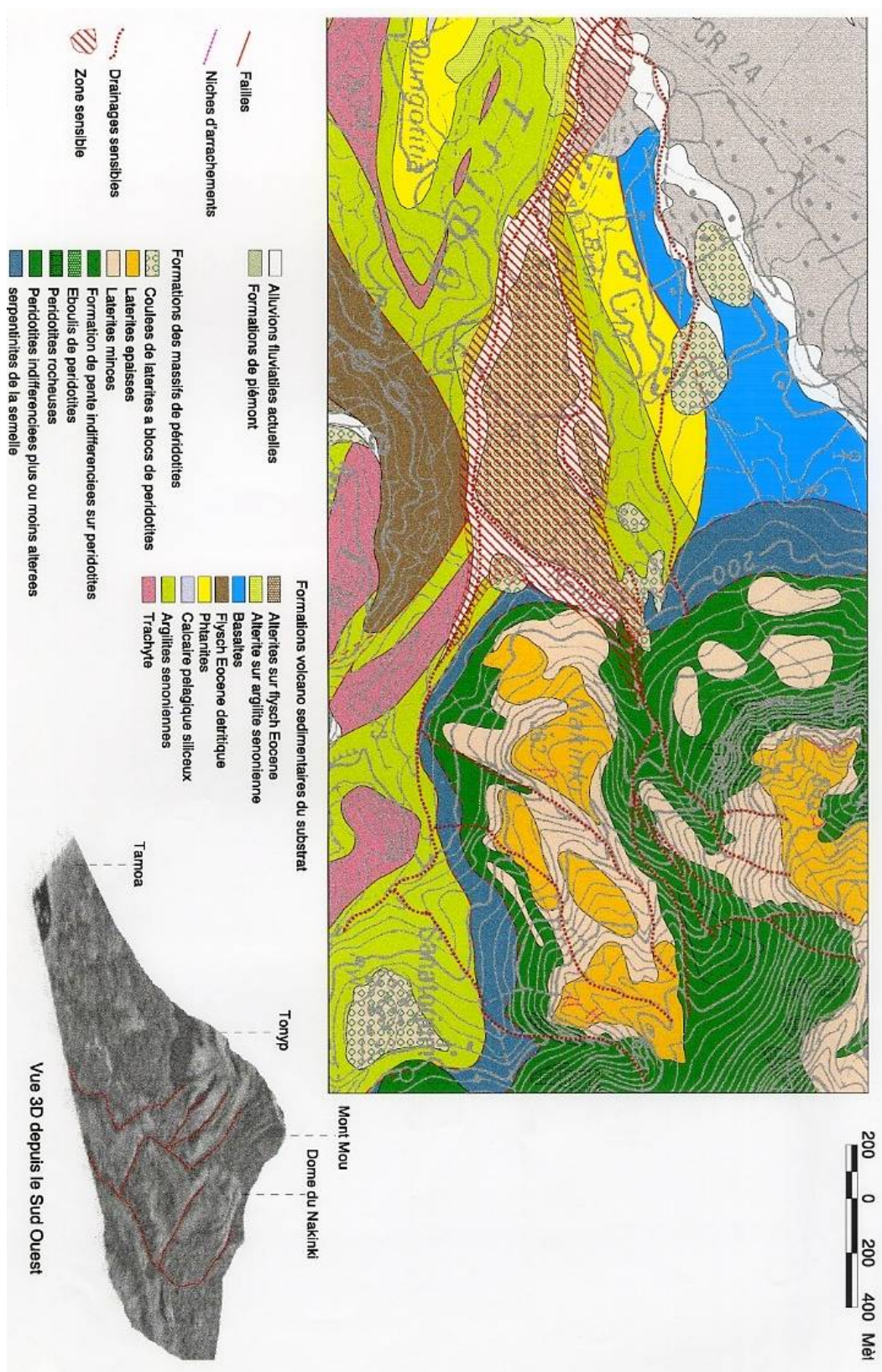


Figure 3 - Carte géologique détaillée de la zone d'effondrement du Mont Mou (in [Maurizot et Lafoy, 1999](#)).

Exemples de la Vallée Carnot et du Mont Koghi

Le flanc sud-ouest des monts Koghis offre un paysage tout aussi typique (Figure 4), avec un pan entier du massif de péridotite effondré. La morphologie d'ensemble donne l'impression que la masse a littéralement coulé dans la vallée en contrebas, recouvrant le substrat volcano-sédimentaire. Les matériaux déplacés l'ont manifestement été de manière plus fluide au vu de l'étendue et des pentes très faibles à l'aval. De fait, de nombreuses anciennes coulées de débris sont visibles dans le réseau de drainage (Figure 5).

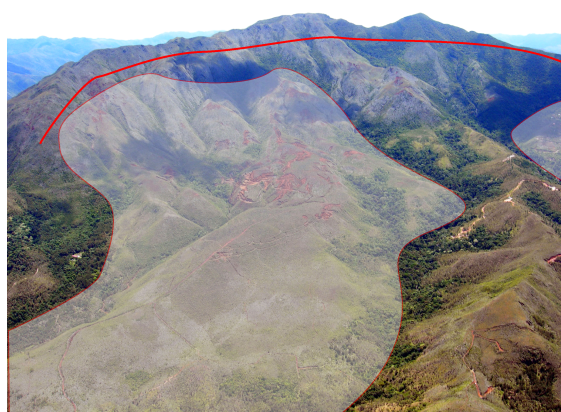
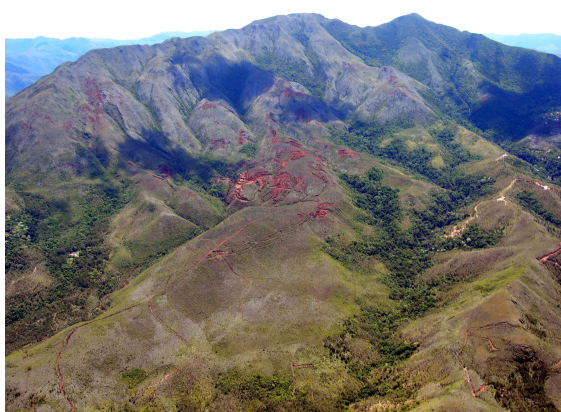
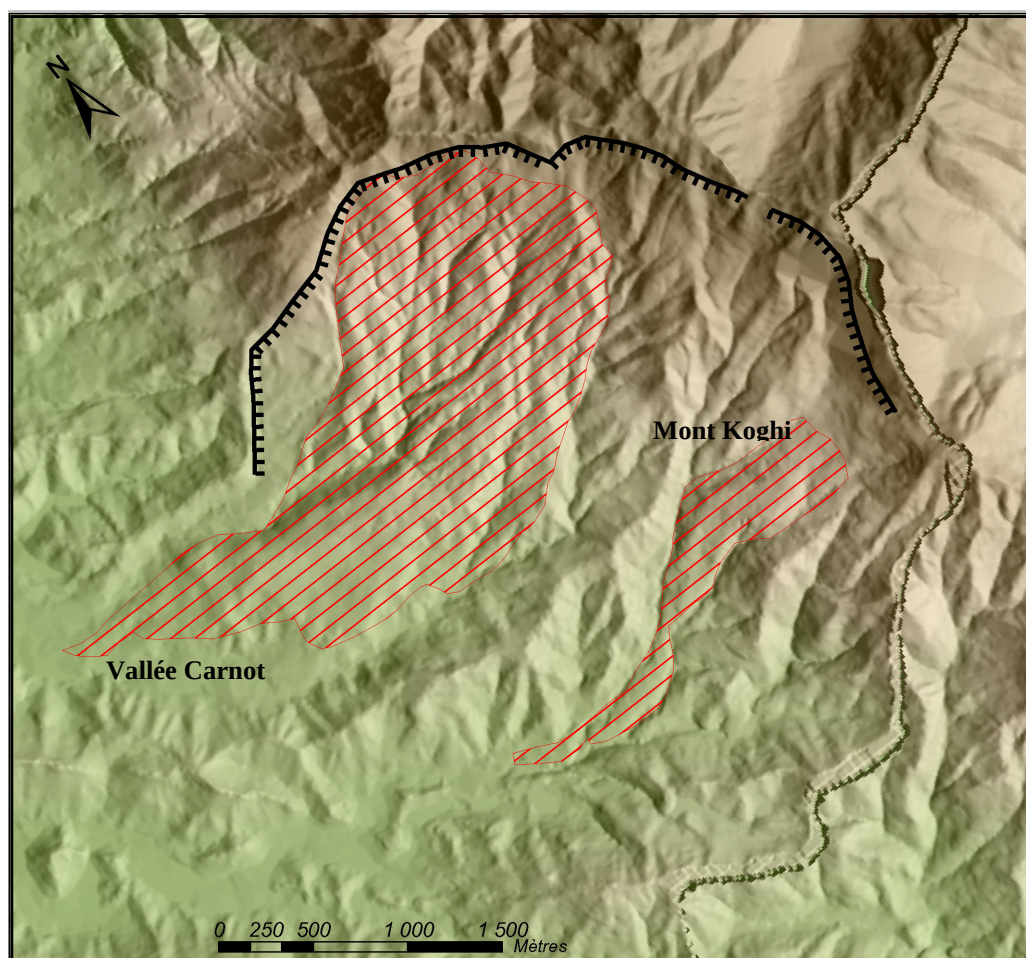


Figure 4 - Ancienne masse effondrée de la vallée Carnot et du Mont Koghi
En haut morphologie générale; en bas à gauche, vue d'hélicoptère depuis le NW; en bas à droite, vue identique avec contourage de la masse effondrée.



Figure 5 - Carte géologique détaillée de la zone d'effondrement de la vallée Carnot et du Mont Koghi (in [Maurizot & Lafoy, 1998](#))

Exemple de Boulouparis

Des morphologies anciennes de glissements en masse sont très reconnaissable sur la façade du massif du Sud surplombant le village de Boulouparis. Ces formes sont « fossilisées » et inactives.

Il s'agit de pans entiers de versants composés de masses rocheuses péridotitiques altérées et de latérites en proportions diverses, ayant glissé le long de l'escarpement du massif. La taille de ces objets est d'ordre kilométrique. Leur ancienneté est attestée par leur état général d'altération (ils supportent des profils latéritiques) et leur re-incision par le réseau hydrographique actuel qui a pu, en certains endroits, amener à des inversions de relief.



Figure 6 - Vue oblique depuis le Sud des anciens effondrements (trace des plans de détachement en rouge) sur le flanc ouest du massif du Sud au-dessus de Boulouparis (photo US Army, 1944).

3.2.2. Données statistiques

La cartographie des grandes structures anciennes de glissement a permis de relever plus de 200 objets dans le massif du Sud (Figure 1). Ces masses effondrées sont très apparentes dans la partie nord du massif. Elles ne sont pas exprimées dans sa partie sud, c'est-à-dire dans la région Yaté - Plaine-des-Lacs. La prépondérance de ces phénomènes est donc directement corrélée avec l'importance des reliefs.

Les morphologies typiques sont reprises à divers degrés par l'érosion se retrouvant parfois en inversion de relief. Quelques paramètres statistiques peuvent être calculés sur cette population d'objets morphologiques.

La plus grande majorité des objets glissés a des surfaces comprises entre 20 et 200 hectares (0,5 et 2 km²). Leur pente moyenne est généralement comprise entre 15 et 35°.

Les versants affectés par les effondrements en masse sont dirigés principalement vers le Sud (calcul basé sur l'orientation des zones de rupture amont) et de manière subordonnée vers l'Est et l'Ouest. Cette prévalence d'orientation peut avoir plusieurs origines :

- contrôle structural du substrat (plans de fractures ou failles utilisés préférentiellement),
- contrôle climatique (altération plus grande au SW, S et SE).

Une cartographie fine et homogène du substrat, de sa fracturation et de son manteau altéritique serait nécessaire pour apporter des éléments de réponse quant à cette dissymétrie de distribution.

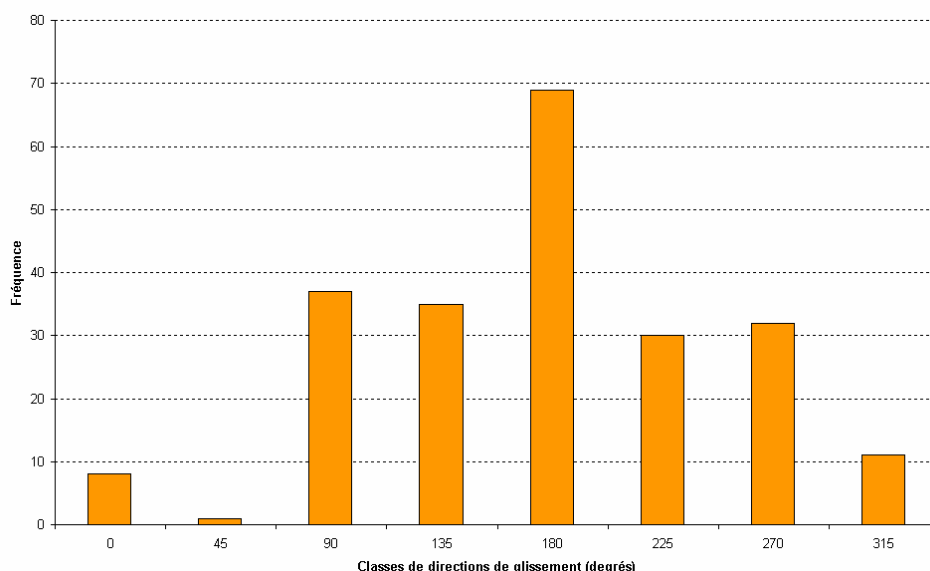


Figure 7 - Classes d'orientation des objets cartographiés

3.2.3. Typologie

Les masses décrochées peuvent se présenter sous des configurations variables, en fonction de l'importance des volumes mobilisés et de leur plus ou moins longue évolution temporelle. L'altération et l'érosion (conséquence du changement d'altitude du niveau de base) contemporaines ou postérieures ont pu produire différents façonnements.

On a rassemblé sur la figure 8 différentes configurations en faisant référence aux sites typiques. Ces différents objets peuvent être rangés en suivant une logique temporelle ou un degré d'évolution. Dans cette logique les masses effondrées sont de plus en plus désolidarisées de leur source (figure 8 - 1 à figure 8 - 5), de même qu'elles sont de plus en plus altérées et reprises par l'érosion.

La configuration observée au Mont-Dore, qui est l'une des plus évoluée, est étudiée plus avant en détail (cf. 3.3 Le dôme effondré du Mont-Dore).

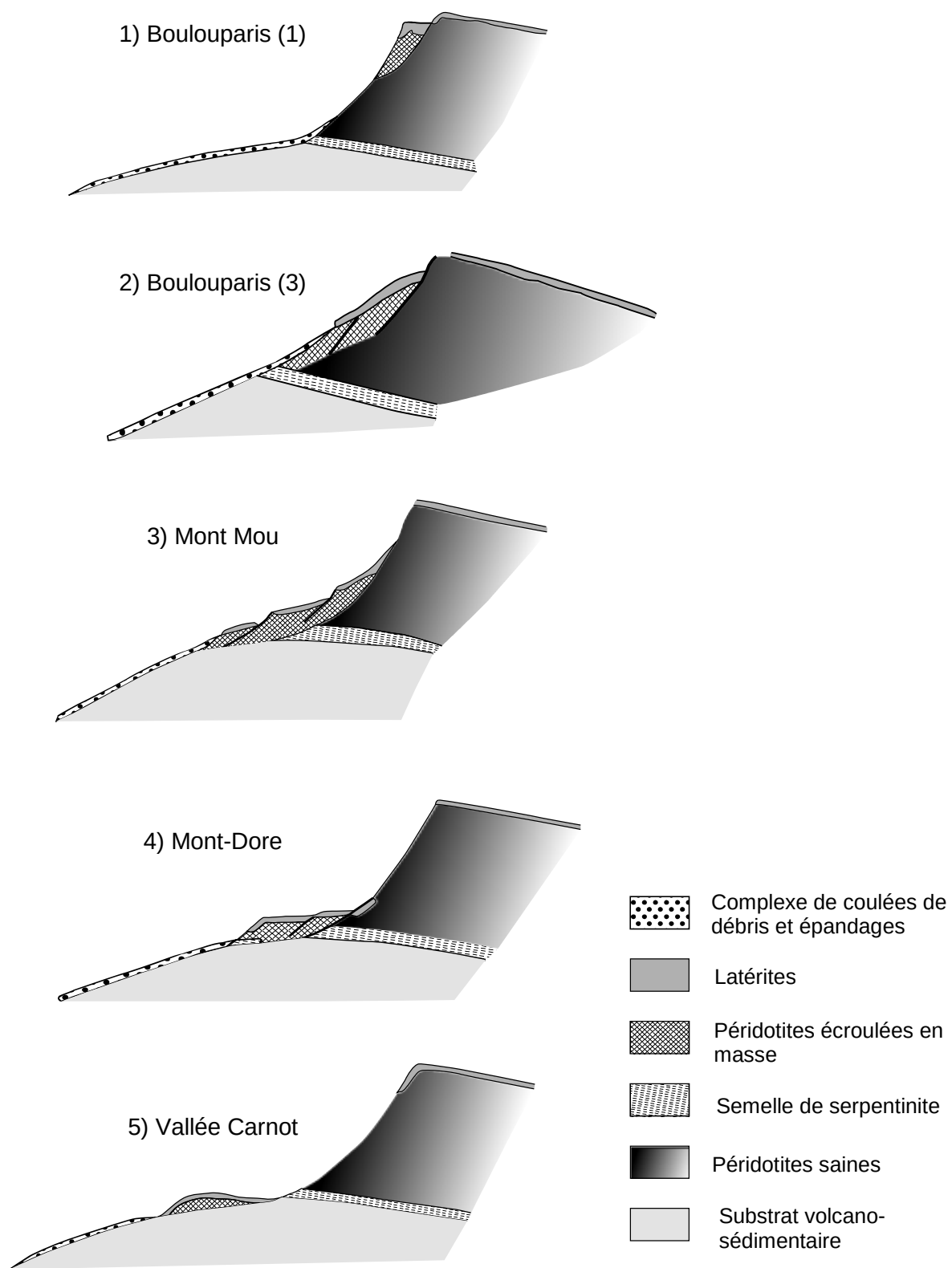


Figure 8 - Schématisation des différentes configurations connues de glissements en masse sur les versants du Massif du Sud et références à quelques localités types.

3.3. LE DOME EFFONDRE DU MONT-DORE

Les mouvements de terrain importants qui ont eu lieu entre 1988 et 1990 aux lotissements Mille, Berton et l'Aiguade, qui ont directement menacé les biens et les personnes, ont entraîné des études détaillées et des travaux substantiels sans équivalent en Nouvelle-Calédonie sur ce type de masse instable. On peut en faire le résumé suivant

Le 12 janvier 1988, lors du passage du cyclone "Anne", un dôme de péridotites (Figure 12 et Figure 13) situé au pied du massif du Mont-Dore et au droit des lotissements Mille et Berton fut affecté par des mouvements de terrain d'une ampleur inattendue. A la station météorologique voisine de la Pépinière, un pic d'intensité pluviométrique de 101 mm en 24 h fut enregistré. La veille 158 mm en 24h avaient été notés. Une langue de coulée boueuse charriant des blocs, dont certains atteignaient plusieurs mètres cubes, dévala depuis le dôme sur plusieurs centaines de mètres et s'immobilisa à quelques mètres de l'habitation située la plus en amont des lotissements (Figure 9 et Figure 10). 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. En outre, dès cette époque, la totalité du dôme est soupçonnée d'être une ancienne masse effondrée (Figure 14) de grande ampleur, détachée du front du massif du Sud, les glissements présents étant dus à la réactivation des bordures de cette structure instable.

Des travaux de confortement et de protection furent aussitôt entrepris et s'étalèrent sur deux ans (Figure 11).

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. La langue principale de glissement s'arrêta dans un bouquet de végétation, dans des espaces non construits ou des jardins.

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



Figure 9 - Photographie au lendemain de la coulée au-dessus des lotissements Mille et Berton.



Figure 10 - Photo du front de la coulée au niveau des lotissements Mille et Berton (vue aérienne du Sud).



Figure 11 - Photographie montrant les deux glissements en 1990 pendant la construction des ouvrages de confortement

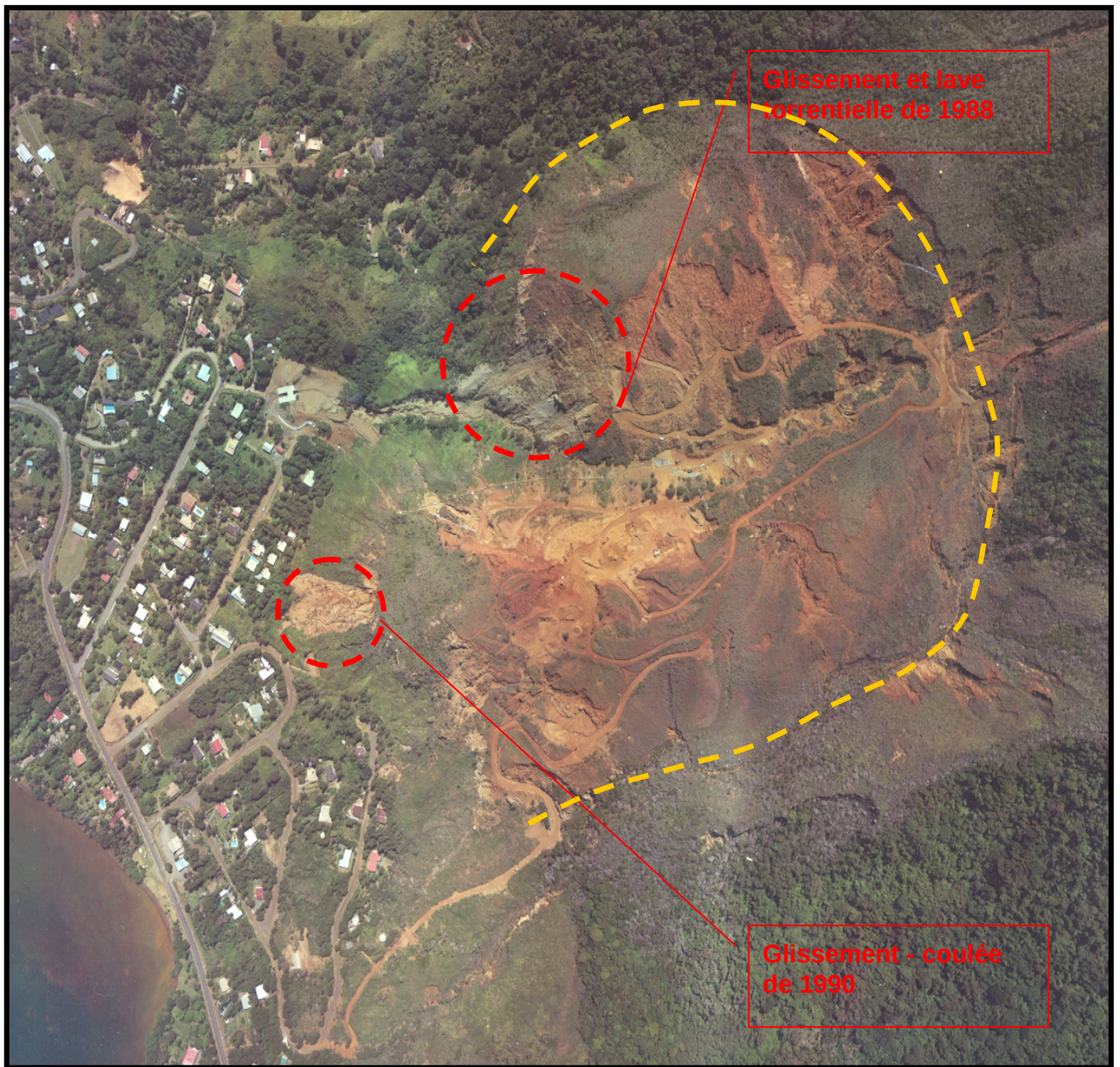


Figure 12 - Vue aérienne du dôme de péridotite altéré (ceinturé en jaune pointillé) du Mont-Dore, situé au-dessus des lotissements Mille et Berton.



Figure 13 – Vue oblique du dôme du Mont-Dore au-dessus des lotissements Mille et Berton en 2000, vu d'hélicoptère (photographie M. Baillaut, GéoEx)

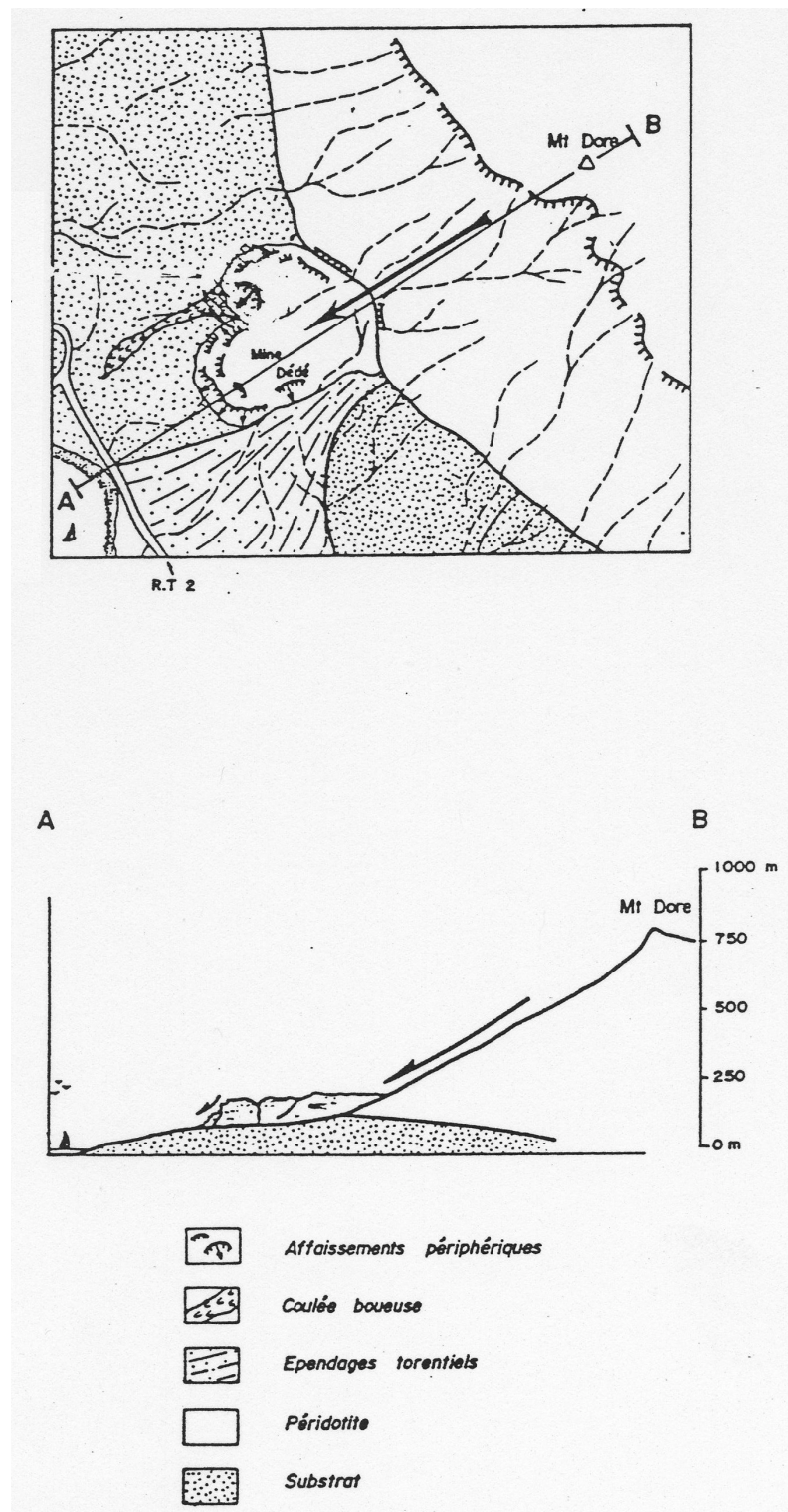


Figure 14 – Hypothèse sur l'origine du dôme du Mont-Dore (in [Riondy, 1990](#))

3.3.1. Description des phénomènes actuels

Pour une description détaillée des phénomènes de mouvements de terrain de 1988 et 1990 nous renvoyons le lecteur à [Maurizot & Lafoy \(2003\)](#).

3.3.2. 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 12 et Figure 13). L'examen géologique de cette zone montre qu'il s'agit d'une masse de péridotite située à la base du massif, extrêmement déstructurée, serpentinisée, fracturée, altérée. La calotte convexe du dôme est recouverte par un manteau latéritique épais dans lequel de nombreux lavakas sont ouverts. Un cours d'eau (creek de la mine Dédé) traverse le dôme. Sur ses bordures, là où la pente augmente, de nombreuses niches d'arrachement mettent à nu le substrat. Ce dernier apparaît constitué d'un matériau très peu cohésif fait de péridotites disloquées très serpentinisées, en paquets discontinus pénétrés par l'altération latéritique et séparés par des poches de latérite à blocs. Les matériaux se détachent fréquemment des flancs, laissant des cicatrices et des niches d'arrachement, et viennent s'étaler en contrebas. On relève de nombreux blocs en équilibre sur les pentes, des nappages latéritiques et éboulis sur les versants, des témoins d'anciennes laves torrentielles dans les creeks.

Dés 1990, l'hypothèse est faite que le dôme surplombant les lotissements Mille et Berton correspond à un panneau détaché du massif du Mont-Dore (Figure 14). Plusieurs questions se posent alors :

- Quelle est la constitution géologique de cette masse effondrée ?
- Quelle est sa géométrie ?
- Y a-t-il des mouvements internes, dans la masse même de la structure effondrée, autres que les mouvements enregistrés sur ses bordures ?

Nous avons tenté de répondre respectivement à ces questions :

- par une étude de détail de la structure géologique du dôme,
- par une investigation en profondeur par géophysique (tomographie de résistivité électrique,
- par un suivi par GPS différentiel.

3.4. CARTOGRAPHIE GEOLOGIQUE DETAILLEE

La cartographie géologique détaillée du dôme du Mont-Dore et de son environnement géologique est présentée en figure 15. Cette cartographie met en évidence la latéritisation profonde de l'ensemble. On note de nombreuses anciennes coulées de débris dont certaines isolées en butte témoin attestent que les phénomènes d'instabilité dans cette zone sont une constante au cours du temps. A la partie amont

de la masse glissée, une zone de dépression a été identifiée. Elle semble correspondre à un graben de direction Est-Ouest, les sommets des profils latéritiques apparaissant décalés de part et d'autre de cette dépression. Cette zone peut être soupçonnée d'être encore active à l'heure actuelle (indiquée D sur la Figure 15).

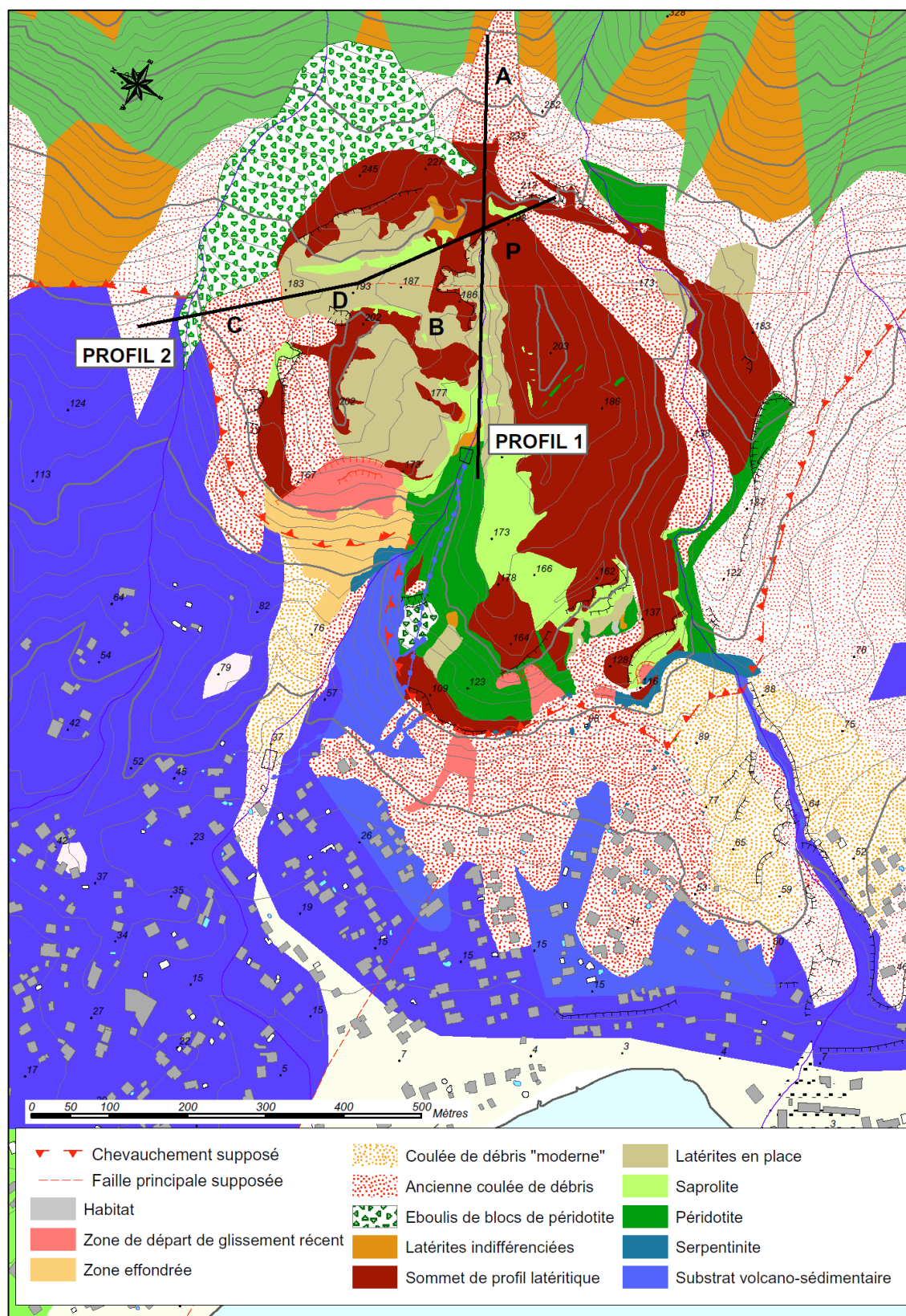


Figure 15 - Carte géologique détaillée de la zone des glissements du Mont-Dore.

3.5. ETUDE GEOPHYSIQUE PAR TOMOGRAPHIE DE RESISTIVITE ELECTRIQUE

3.5.1. Rappels méthodologiques

La tomographie électrique 2-D est un système combinant des techniques de sondages et de profilage électrique permettant d'établir une image électrique des formations superficielles constituant le sous-sol. Son principe est basé sur l'utilisation d'un dispositif multi-électrodes constitué d'un sélecteur d'électrodes et de câbles multicanaux permettant de connecter une série d'électrodes implantées dans le sol à un résistivimètre, ce dernier étant lui-même connecté à un micro-ordinateur.

Dispositif multiélectrodes

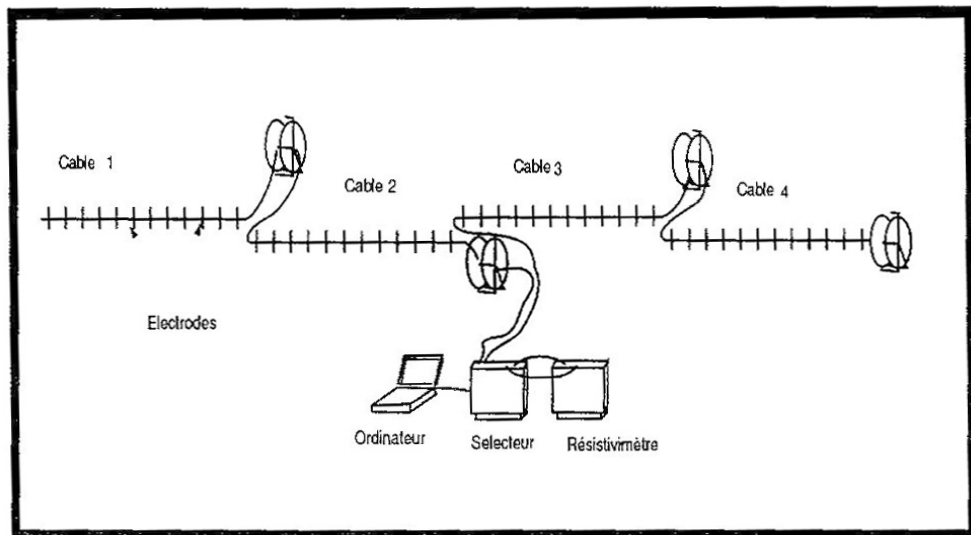


Figure 16 - Schéma de mise en place du dispositif (Loke, 1997).

Chaque câble est pourvu de « take-out », à distance constante, reliés aux électrodes implantés dans le sol, chacune étant espacée d'une distance égale. Les câbles 1 et 2 sont reliés entre eux à l'aide d'un connecteur. Il en est de même pour les câbles 3 et 4.

Ce dispositif permet d'effectuer automatiquement plusieurs centaines de mesures indépendantes les unes des autres. Les données obtenues sont présentées sous forme de pseudo section. Elles sont obtenues en plaçant chaque valeur de résistivité apparente mesurée en dessous du quadripôle C1 - C2 P1 - P2, à une profondeur égale à une fraction de distance C1-C2, appelée pseudo profondeur.

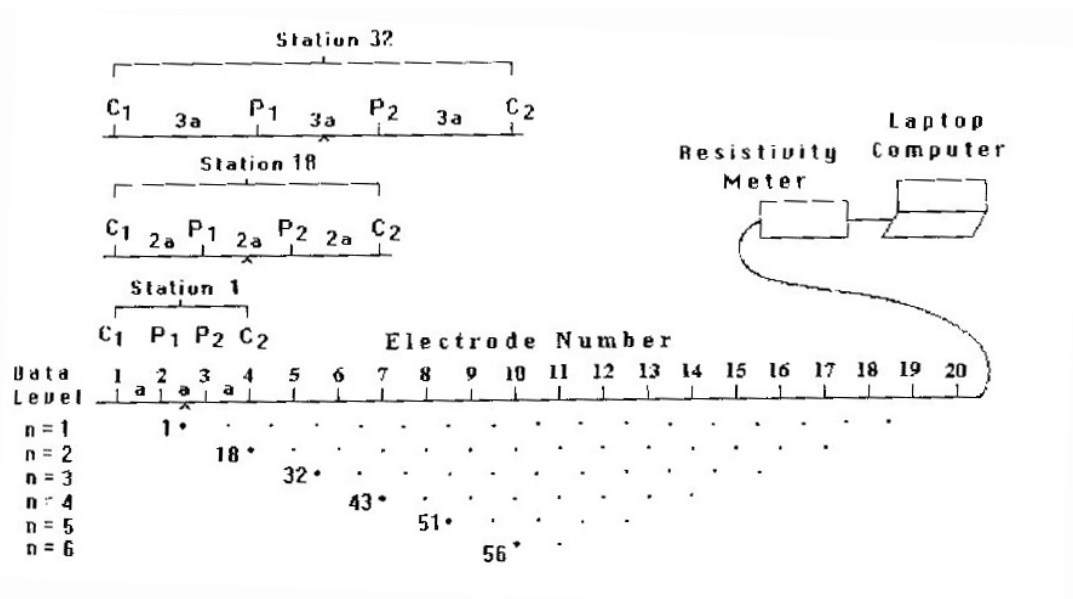


Figure 17 - Schéma explicatif de la construction de la pseudo section (Loke, 1997).

Dans le cas d'une configuration Wenner, au début, C1 est à la première électrode, les électrodes sont espacées d'une distance « a » (ici 10 mètres) et la mesure s'effectue à la verticale du milieu de P1 - P2 et à la pseudo profondeur $C1 - C2 / 2$, comme dans la figure 17. Puis, l'espacement des électrodes est doublé de « 2a » et la mesure de la résistivité apparente est placée au point 2. Ensuite C1 passe à la deuxième électrode et le processus recommence jusqu'à obtention de la totalité des points de mesures.

C'est en effectuant une inversion à l'aide d'un logiciel adapté que l'on retrouve la structure géoélectrique du terrain par le calcul des résistivités vraies. L'inversion est un traitement itératif automatique. A chaque itération, le logiciel génère une pseudo section qu'il compare avec celle observée sur le terrain et ajuste le modèle de sorte à minimiser la différence entre les deux pseudo sections. Cette séquence est répétée jusqu'à obtention d'une pseudo section calculée la plus proche possible de celle observée.

3.5.2. Travaux effectués

Il a été décidé d'implanter deux profils en croix (630 m chacun, espacement inter-électrodes de 10m, profondeur d'investigation ~100m ; Figure 15) proches de la zone des glissements de 1988. Le profil 1 est longitudinal par rapport aux structures. Il recoupe la zone de contact amont de la masse glissée avec le massif en place ; il passe en outre par la coupe naturelle du creek de la mine Dédé ce qui permet une observation géologique directe de la première dizaine de mètres. Le profil 2 est perpendiculaire au premier et suit la dépression D.

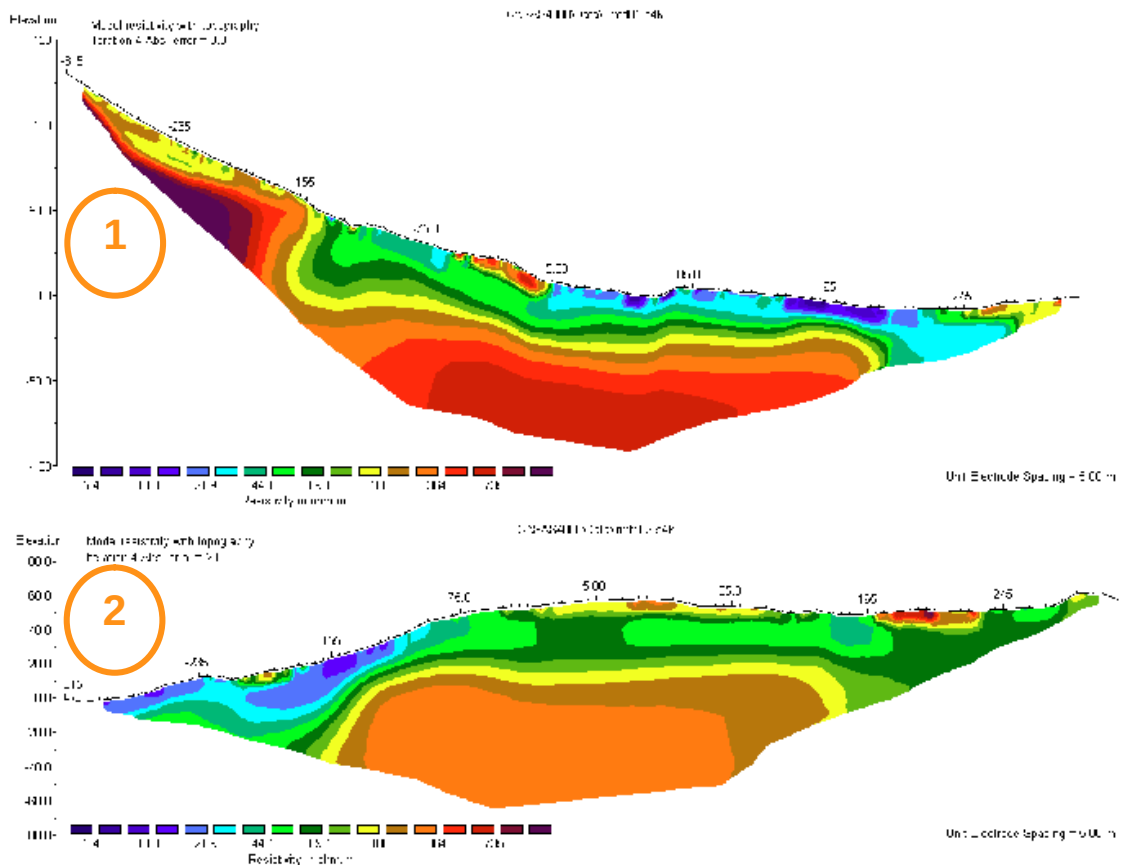


Figure 18 - Profils de résistivité sur le dôme du Mont-Dore : Résultats bruts.

3.5.3. Résultats bruts

Les données obtenues sont bonnes pour le profil 1 (erreur résiduelle = 8.0 après 8 itérations) et excellentes pour le profil 2 (erreur résiduelle = 2.8 après 4 itérations), ce qui permet de produire des modèles géoélectriques fiables. D'une manière générale, on observe des modèles avec une couche conductrice assez épaisse (environ 30 m en moyenne, 10 à 90 ohm.m) sur un substratum résistant (>150 ohm.m) avec par endroits en surface une couche résistante (150 à 400 ohm.m) peu épaisse.

Sur le profil 1, dans la partie amont (Figure 15 A), la couche conductrice est pelliculaire sur le substratum très résistant. Subitement, on passe latéralement à la zone B avec un épaissement brutal du conducteur. L'épaisseur moyenne de la couche conductrice est de 30 à 40 m et elle a tendance à s'amincir vers l'aval en devenant plus conductrice, jusqu'au niveau du creek de la mine Dédé. Dans cette zone B on note un substratum dont le toit présente des ondulations de faible amplitude. En surface apparaît près du point d'intersection (Figure 15 P) des deux profils, une fine couche résistante qui s'arrête brutalement à l'aplomb d'un épaissement latéral de la couche conductrice.

Sur le profil 2, on distingue au nord ouest une zone C montrant des terrains très conducteurs organisés en un fossé profond d'au moins 30 m. Vers le sud-est, on retrouve l'équivalent de la zone B amont du profil 1, mais avec un substratum résistant tabulaire. En surface, une couche résistante mince discontinue nappe la zone B et apparaît au centre de la zone C.

3.5.4. Coupes géologiques de référence

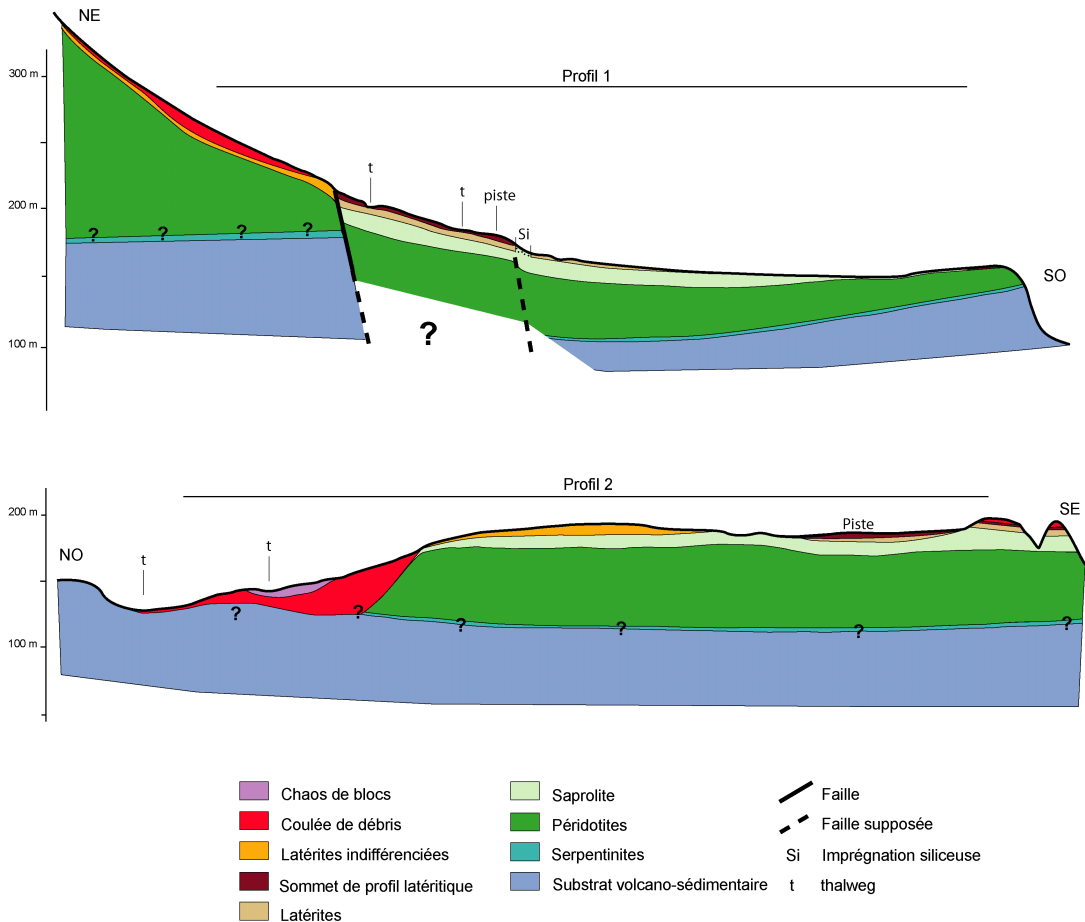


Figure 19 - Interprétation géologique

Les coupes géologiques le long des profils 1 et 2 sont présentées en figure 19. Elles débordent des profils géophysiques pour montrer les relations supposées du dôme avec le soubassement et constituent une interprétation classique de la carte géologique et des connaissances du terrain.

Le long du profil 1, le contact principal entre le dôme et le massif en place est supposé fortement redressé en surface et possiblement listrique en profondeur au vu de l'hypothèse de mise en place par détachement gravitaire. Ce contact est masqué par des matériaux remaniés (coulées de débris, blocs) quasiment partout. Le toit du

saprolite, souvent visible dans la zone d'étude, est décalé de plusieurs mètres en altitude aux alentours de l'intersection des profils 1 et 2. Ceci témoigne d'un autre accident, qui semble synthétique au premier et de plus faible amplitude. D'axe NO-SE, il s'exprime dans la partie NO du dôme par la présence d'une large dépression topographique allongée (plusieurs dizaines de mètres de large) avant de s'estomper vers le SE. On note en surface, à l'aplomb de cet accident mineur, une zone d'intense imprégnation siliceuse, massive, dans le creek de la mine Dédé. Le contact avec le substratum volcano-sédimentaire n'est visible que dans la partie aval du dôme et demeure masqué par des produits remaniés ailleurs. Son pendage apparaît faiblement orienté vers le massif.

La coupe transversale du dôme selon le profil 2 suit l'axe de l'accident mineur décrit précédemment et correspondant au mini-graben (Figure 15 D) évoqué dans le paragraphe relatif à la cartographie détaillée du dôme. Le contact basal est là encore supposé peu penté au vu des affleurements connus et de leur caractéristiques d'altitude. Le contact amont avec le massif en place n'est a priori pas traversé par cette coupe. On met en outre en évidence l'importance des produits remaniés sur les bordures du dôme, ce qui explique aussi la difficulté d'identifier la géométrie du contact basal dôme ultrabasique - substrat volcano-sédimentaire par la seule connaissance de la géologie de surface.

3.5.5. Interprétation géologique des coupes géoélectriques

En fonction des observations géologiques de surface et des gammes de résistivité habituellement attribuées aux formations dans un tel environnement ([Savin et al. 2002](#), [Join et al. 2005](#)), il semble que :

- la formation conductrice de la zone B épaisse d'environ 30 m peut être attribuée à la couverture d'altérites sur péridotites, avec des valeurs de résistivité d'environ 40 à 90 ohm.m pour le saprolite, et des valeurs inférieures à 40 ohm.m pour les latérites jaunes; dans la zone C du profil 2, cette couche conductrice correspond à du remplissage par des coulées de débris anciennes.
- le substratum résistant est naturellement attribué à la masse péridotitique moins altérée.
- par contre, les couches de surface minces et résistantes peuvent être attribuées à diverses formations: chaos de blocs, remblai, latérites rouges remaniées à grenaille, zone siliceuse ...

Le profil 1 met en évidence une discontinuité subverticale entre les zones A et B qui est attribuée au contact entre le dôme glissé et le massif de péridotites en place. Une deuxième discontinuité, dans l'axe de la dépression D, décale le conducteur avec épaissement brutal des latérites et s'exprime en surface par une zone siliceuse. La masse péridotitique glissée présente une épaisseur minimum de 100 mètres, le substratum basaltique conducteur n'apparaissant pas à la base des modèles géoélectriques.

Sur le profil 2, le fossé conducteur révèle une grande épaisseur de produits d'altération remaniés provenant du dôme adjacent. Le contact péridotites sur basaltes est soit masqué par le fossé, soit trop profond pour être détecté. La couche superficielle très

résistante et très localisée au milieu de la zone C est attribuée au passage d'un chaos de gros blocs métriques. La zone B du profil révèle une grosse épaisseur de saprolite au vu des valeurs de résistivité, reposant sur un substratum péridotitique tabulaire. Dans cette zone, la couche de surface mince et résistante correspond à des formations superficielles (latérites rouges à grenaille) et de remblai.

3.5.6. Apport de la géophysique à la connaissance de la structure du dôme

Les apports de la géophysique à la connaissance de la structure du dôme sont :

- la confirmation et la localisation du contact majeur entre la masse de péridotites glissées et le massif en place. Cependant la géométrie du contact (listrique ?) n'est pas établie.
- l'existence d'un accident synthétique de l'accident amont principal au niveau de la dépression D.
- l'évaluation en amont de l'épaisseur de la masse glissée à plus de 100 m.
- la mise en évidence d'une couverture d'altérites continue sous l'ensemble des profils avec une épaisseur moyenne de 30 m, même si le profil longitudinal 1 montre de petits décalages verticaux.

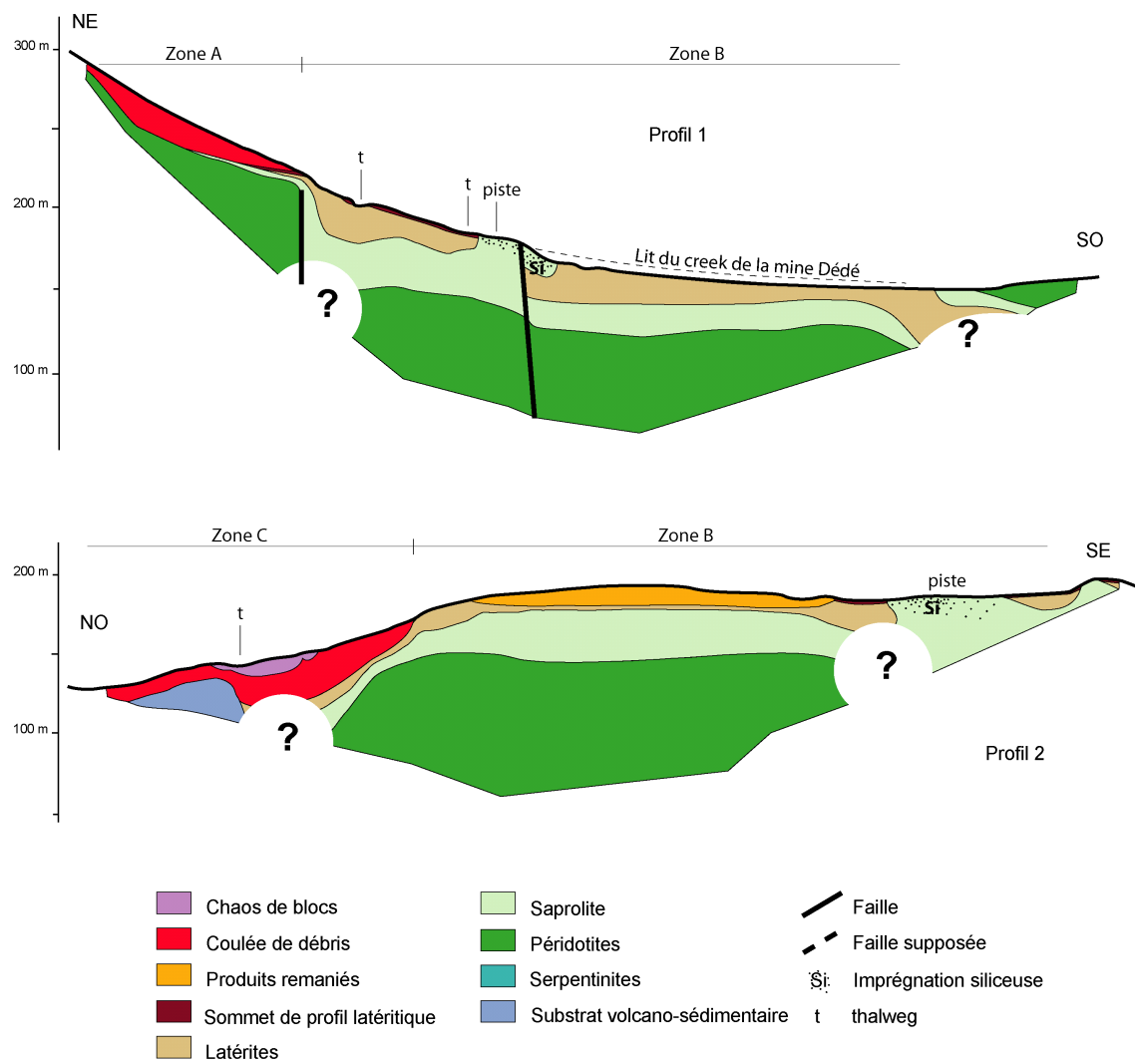


Figure 20 - Profils de resistivité : Interprétation géologique des horizons électriques

3.6. ETUDE DES MOUVEMENTS ACTUELS PAR GPS DIFFERENTIELS

Depuis les glissements des années 1990, les zones périphériques instables sont régulièrement auscultées par les services de la Province Sud. Les études d'auscultation ont montré que ces glissements sont toujours actifs. Il a semblé intéressant d'étendre ces mesures à tout le dôme pour essayer de détecter des mouvements à plus long terme dans l'ancienne masse effondrée. Le plan de positionnement des points de contrôle est présenté en figure 21.

3.6.1. Rappels méthodologiques

Plus d'une vingtaine de points de contrôle topographique a été mise en place sur le dôme, dans le but de mettre en évidence le caractère actif ou non de la grande masse glissée. Le contrôle topographique de précision a été effectué par le Bureau Géodésie Nivellement de la Direction des Infrastructures, de la Topographie et des Transports Terrestres de la Nouvelle-Calédonie par observation de type Real Time Kinematic (RTK). Deux campagnes d'observation DGPS (GPS Différentiel) ont été conduites, en septembre 2005 et octobre 2006, à partir de deux points statiques (figure 21 - P2 et P7). Le matériel utilisé est de marque Trimble :

GPS fixe ou Base : Trimble 5700 : DITTT
Trimble 4800 : UNC

GPS mobile ou Rover : Trimble 5700 : DITTT
Trimble 5800 : Infotopo (location)

3.6.2. Travaux effectués

Les points P2 et P7 ont été pris comme points de référence. Leur position a été calculée à partir du point géodésique de rattachement NOUM sur 6 sessions de 1 heure d'observation en statique rapide. Les calculs ont été réalisés sur le logiciel Trimble TGO. Le point NOUM est fixé en coordonnées RGNC (géographiques) dans le tableau 1 ci-dessous. He représente la hauteur au-dessus de l'ellipsoïde.

Acronyme	Matricule	Latitude	Longitude	He
NOUM	33-68b	-22°16'11.48399"	166°24'36.69250"	83.203

Tableau 1 - Positionnement du point géodésique de rattachement NOUM

3.6.3. Premiers résultats

2005	E	N	He
P02	459 645.719	214 753.937	263.206
P07	459 500.900	214 983.207	263.187

Tableau 2 - Coordonnées 2005 pour les stations fixes (bases)

2006	E	N	Erreur Plani	He	Erreur Alti
P02	459645.717	214753.942	0.007	263.219	0.007
P07	459500.885	214983.218	0.007	263.177	0.007

Tableau 3 - Coordonnées 2006 pour les stations fixes (bases)

	ΔE (m)	ΔN (m)	ΔHe (m)
P02	-0.002	0.005	0.013
P07	-0.015	0.011	-0.010

Tableau 4 - Ecart entre les coordonnées 2006 et 2005 des points de base

Les coordonnées 2006 des points P2 et P7 ont été utilisées pour effectuer les relevés RTK. Chaque point ausculté a été mesuré sur plus de 5 enregistrements RTK (avec une réinitialisation en cours de mesure). Seul le point P22 a été observé uniquement depuis une référence (P02) en 2006. Contrairement à la première mesure de 2005 où les points avaient tous été stationnés en centrage forcé (trépied + embase), des cannes de levé RTK (2m) ont été utilisées en 2006. Ce mode opératoire est beaucoup plus facile à mettre en œuvre (encombrement et poids faible dans un contexte de terrain très escarpé) mais ne permet pas la même précision sur la mise en station de l'instrument. Cette précision peut être estimée à 2 cm environ.

	ΔE (m)	ΔN (m)	ΔZ (m)
P01	-0,007	0,019	0,005
P02	-0,002	0,005	0,013
P03	0,015	0,013	-0,006
P04	-0,016	0,017	-0,010
P05	-0,021	0,011	-0,003
P06	-0,014	0,012	-0,003
P07	-0,015	0,011	-0,010
P08	-0,017	0,016	0,010
P09	-0,028	-0,001	-0,003
P10	-0,012	0,018	-0,004
P11	-0,003	0,010	0,001
P12	-0,008	0,010	0,011
P13	-0,006	0,019	0,004
P14	-0,016	0,005	-0,004
P15	0,000	0,015	-0,015
P16			
P17	0,018	0,015	0,034
P20	0,003	0,017	-0,003
P21	-0,007	0,014	-0,010
P22	0,006	0,011	0,014
P23	-0,002	0,016	-0,009

Tableau 5 - Ecart entre les coordonnées 2006 et 2005 des points de contrôles

Seuls donc, les points présentant des écarts supérieurs à 2 cm entre 2005 et 2006 ont été considérés. Ces points sont indiqués en surbrillance dans le tableau 5 ci-dessus. Il s'agit de P05, P09 et P17.

Ces résultats tout à fait préliminaires peuvent laisser supposer des mouvements actuels potentiels sur l'ensemble du dôme. Aucun des points situés dans la zone de rupture amont ne présente de forte variation. Le faible nombre de mesure ne permet pas actuellement de tirer des conclusions. En tout état de cause, il convient d'attendre les prochaines campagnes de mesure pour juger de la réalité des déplacements mesurés et de leur pérennité dans le temps.

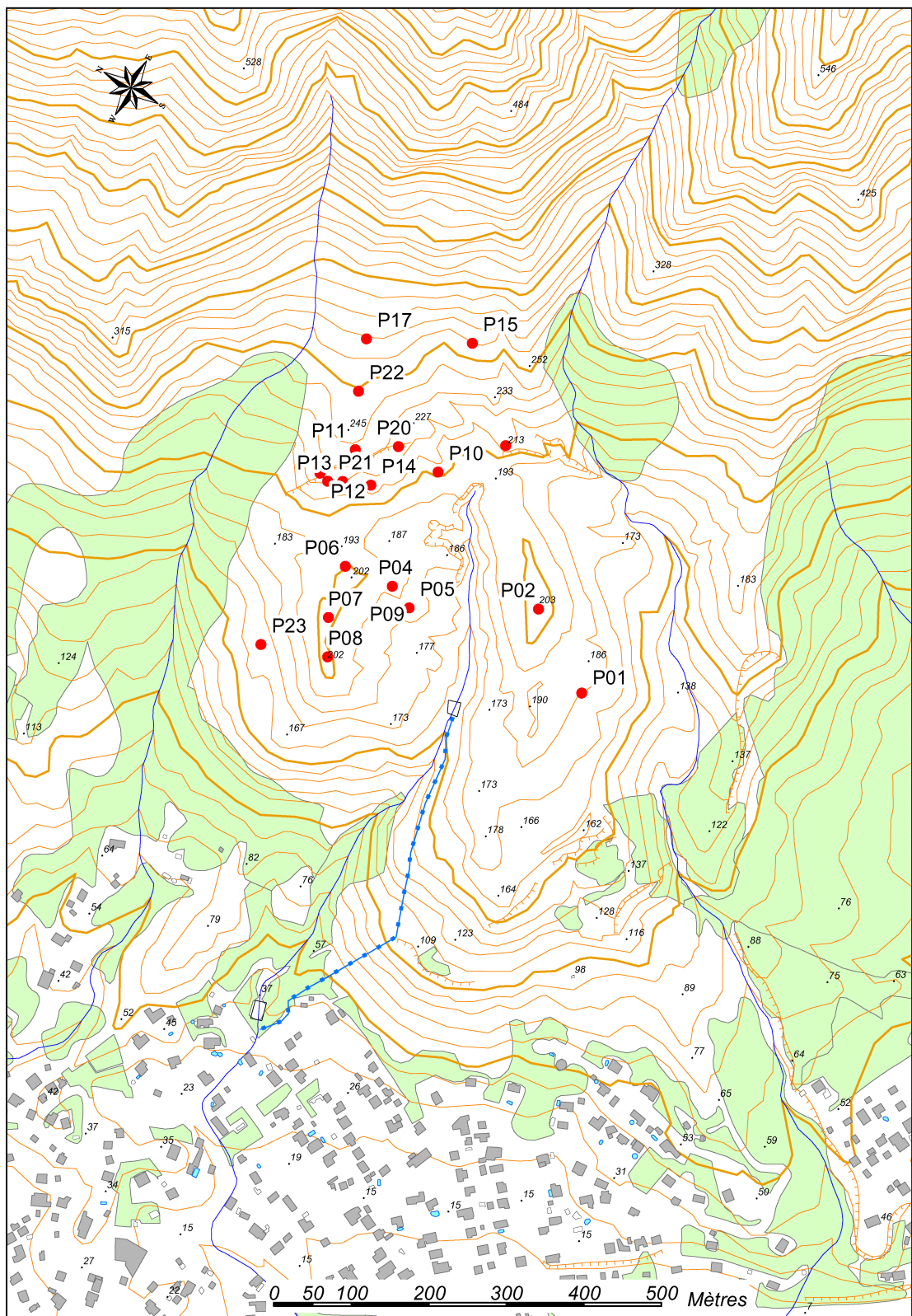


Figure 21 - Plan de positionnement des points de contrôle DGPS sur le dôme du Mont-Dore.

4. Conclusions

Les anciens glissements de terrain de grande ampleur sont communs dans les massifs de péridotites de Nouvelle-Calédonie. Leur taille est d'ordre kilométrique. La cartographie de ces masses effondrées par télédétection et observation directe permet de dénombrer près de 200 de ces structures morphologiques dans le massif du Sud. Les versants affectés par les effondrements en masse sont dirigés principalement vers le Sud sans que pour l'instant on puisse expliquer cette prévalence.

La zone de glissement du Mont-Dore est un modèle de masse effondrée de grande ampleur réactivée sur ces bordures, étant à la fois la plus sensible en termes de risque et la plus accessible en termes logistiques. Sur cette zone pilote, la cartographie géologique de détail met en évidence la latéritisation profonde de l'ensemble et la présence de nombreuses anciennes coulées de débris dont certaines isolées en butte témoin attestant que les phénomènes d'instabilité sont une constante au cours du temps.

Les profils de tomographie de résistivité électrique confirment l'existence du contact majeur entre la masse de péridotites glissées et le massif en place sans pour autant résoudre sa géométrie. L'existence d'un accident synthétique de l'accident amont principal, marqué par une dépression et correspondant à un grabben est également établie.

L'étude par GPS différentiel d'un réseau de points dont les positions ont été mesurées en 2005 et 2006 avec une précision de 2 cm ne permet pas de tirer de conclusions actuellement. Il convient d'attendre les prochaines campagnes de mesure pour juger de la réalité des déplacements mesurés qui pour l'instant ne sont pas significatifs.

Des études complémentaires seront nécessaires pour améliorer notre connaissance sur ce type d'objet. A grande échelle, l'étude de plusieurs objets morphologiques cartographiés en rapport avec les données structurales du substrat péridotitique devrait permettre d'expliquer la prévalence d'orientation des glissements en masse vers le Sud. A plus petite échelle, sur le site pilote du Mont-Dore, l'auscultation doit se poursuivre dans le temps afin de préciser la nature des mouvements mesurés actuellement sur une trop faible période.

5. Bibliographie

Join J.L., Robineau B., Ambrosi J.P., Costis C., Colin F., 2005 - Système hydrogéologique d'un massif minier ultrabasique de Nouvelle-Calédonie. C.R. Géoscience 337, Géosciences de surface (Hydrologie - Hydrogéologie), pages 1500 - 1508.

Maurizot P., Lafoy Y., 2003 - L'aléa naturel mouvements de terrain en Nouvelle-Calédonie, Synthèse des connaissances, Rapport BRGM/RP 52 213-FR.

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

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/RP 40 403-FR.

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

Savin C., Robineau B., Monteil G., Beauvais A., Parisot J.C., Ritz M., - 2002, Electrical imaging of peridotite weathering mantles as a complementary tool for a nickel ore exploration in New Caledonia, in ASEG 16th Geophysical conference, Adelaide, Australia, p. 5.



Centre scientifique et technique
3, avenue Claude-Guillemain
BP 6009
45060 – Orléans Cedex 2 – France
Tél. : 02 38 64 34 34

brgm antenne Nouvelle-Calédonie
Direction de l'Industrie, des Mines et de l'Energie de
Nouvelle-Calédonie
1ter, rue E. Unger, Vallée du Tir, BP 465
98845 – Nouméa Cedex
Tél. : 06 87 27 02 36