



Nouvelle-Calédonie

Document public

Cartographie des formations superficielles et des aléas mouvements de terrain en NOUVELLE – CALEDONIE - Zone de Thio



Mots clés : 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., Lafoy Y. (2001) – Cartographie des formations superficielles et des aléas mouvements de terrain et érosion en Nouvelle-Calédonie – Zone de Thio, Rap. BRGM /R P 50845- FR.

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

SOMMAIRE

INTRODUCTION

1 - GENERALITES SUR LES ALEAS, LES RISQUES ET LES P.P.R.

1.1 - La notion d'aléa et de risque

1.2 - Les Plans de Prévention des Risques naturels prévisibles (P.P.R.) en Métropole et dans les DOM

2 - LA NOUVELLE-CALEDONIE : CONTEXTE, SPECIFICITE ET TRAVAUX ANTERIEURS EN TERME D'ALEAS ET DE RISQUES

2.1 - Les principaux aléas naturels en Nouvelle-Calédonie

2.1.1 - Cyclones et inondations

2.1.2 - Séismes

2.1.3 - Mouvements de terrain et érosion

3 - ZONE D'ETUDE DU PROGRAMME 2000 - 2001

3.1 - Travaux antérieurs réalisés

4. - PRINCIPAUX RESULTATS

4.1 - CARTE GEOLOGIQUE ET DES FORMATIONS SUPERFICIELLES

4.1.1 - Formations volcano-sédimentaires du substrat

4.1.1.1 - Permien et Trias

4.1.1.2 - Argilites, grès et charbons du Crétacé

4.1.1.3 - Phtanites et calcaires paléocènes

4.1.1.4 – Basaltes

4.1.1.5 – Flyschs éocènes

4.1.2 - Formations des massifs de péridotites

4.1.2.1 - Péridotites, serpentinites et murs de silice

4.1.2.2 - Latérites in situ

4.1.2.3 - Altérites remaniées

4.1.3 - Formations alluvionnaires et littorales

4.2 - MODELE NUMERIQUE DE TERRAIN - IMAGES SATELLITALES

4.2.1 - Modèle numérique de terrain

4.2.2 - Données satellitales

4.3 - CARTE INFORMATIVE DES PHENOMENES, TYPOLOGIE DES ALEAS

4.4 - CARTE DE SUSCEPTIBILITE DES ALEAS

5. - MISE EN EVIDENCE DE ZONES SENSIBLES

5.1 - Les ravines du creek Jeanne et Marie et du creek Vincent

5.2 - Le glissement du creek Bel-Air

5.3 - Les glissements du Camp des Sapins

5.4 - Etude de la zone du plateau de Thio

5.5 – L'aléa torrentiel

5.6 – L'aléa inondation

CONCLUSIONS

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

ANNEXE 1 : Descriptif de la base de données SIG

ANNEXE 2 : Carte géologique et des formations superficielles à 1 / 25 000

ANNEXE 3 : Carte informative des phénomènes à 1 / 25 000

INTRODUCTION

1 - Objectifs de la convention

L'opération intitulée "*Cartographie des formations superficielles et des aléas mouvements de terrain en Nouvelle-Calédonie*" fait l'objet d'une convention pluriannuelle entre la Nouvelle-Calédonie et le Bureau de Recherches Géologiques et Minières. L'opération est réalisée par le Service Géologique National en collaboration étroite avec le Service des Mines et de l'Energie de Nouvelle-Calédonie. Elle consiste à compléter la cartographie géologique existante, en particulier par un levé des formations superficielles et d'altération et à dresser un inventaire des zones d'aléas du point de vue de l'instabilité et de l'érosion des sols. Cette opération permet, entre autre, de fournir des documents cartographiques pouvant contribuer à l'élaboration d'un schéma d'aménagement et de développement de la Nouvelle-Calédonie (article 211 de la loi organique du 19 mars 1999).

Cela consiste, pour les zones d'étude sélectionnées chaque année :

1 - à réaliser la cartographie des formations superficielles et faire le bilan de toutes les informations disponibles sur les phénomènes d'instabilité (mouvements de terrain et érosion) significatifs, observés ou historiques. Ces informations (disponibles auprès d'organismes tels qu'administrations, bureaux privés, universités, ...) sont synthétisées sous la forme

d'une carte informative des phénomènes à l'échelle 1/25 000 destinée à informer et sensibiliser les élus et la population,

2 - à réaliser l'analyse de l'aléa instabilité et à en dégager les paramètres pour aboutir à une cartographie de susceptibilité. Cette carte des aléas permet, en tenant compte si possible, de la nature des phénomènes, de leur probabilité d'occurrence et de leur intensité, de localiser et de hiérarchiser les zones exposées aux phénomènes concernés,

3 – à contribuer à la constitution d'une base de données locale actualisable. Pour ce faire, ces données sont restituées sous forme numérique afin d'être intégrées dans les Systèmes d'Informations Géographiques (SIG) développés par le Réseau d'Echanges et de Traitement d'Informations Géographiques (RÉTIGéo) de la Nouvelle-Calédonie.

2 - Contenu de l'étude

L'étude doit délimiter, dans les zones d'enjeux sélectionnées et avec une précision compatible à une échelle de 1/25 000ème, les zones susceptibles d'être affectées par les phénomènes naturels suivants :

- les mouvements de terrain tels que les glissements, éboulements, chutes de blocs, effondrements, affaissements, coulées boueuses, ...

- la dégradation naturelle ou anthropique de zones qui seront recensées en tant que facteur aggravant.

Le recensement des phénomènes naturels traités se fait par :

- la synthèse des archives en possession de divers organismes et administrations. Des enquêtes pourront être menées auprès de la population et des élus afin de réactiver la mémoire collective,

- l'interprétation des données de télédétection (images satellitales et photographies aériennes),

- la compilation des études existantes (cartes thématiques: topographiques, géomorphologiques, géologiques, de densité du couvert végétal; cartes de localisation des phénomènes; cartes de risques).

- des levés de terrain.

Le contenu de l'étude, englobe également:

- la saisie numérique des données en vue de leur intégration sous SIG,

- la constitution de la base de données des informations,

- l'élaboration des cartes: informative des phénomènes, géologique (du substrat et des

formations superficielles), et de susceptibilité (zonage d'aléas),

- les traitements informatiques d'analyse et de modélisation (processus de combinaison des couches d'informations),

- la rédaction des notices explicatives (cartographie) et descriptives (base de données).

Le rapport d'étude est remis aux autorités de la Nouvelle-Calédonie, à savoir :

- le Président du gouvernement de la Nouvelle-Calédonie,

- le Délégué du Gouvernement, Haut-Commissaire de la République en Nouvelle-Calédonie, service de la sécurité civile,

- les services des Mines et de l'Energie et des Méthodes Administratives et de l'Informatique, tous deux mandatés pour le valider d'après la définition du cahier des charges de l'étude,

- les services des provinces où se déroule l'étude,

- les communes intéressées par l'étude.

1 - GENERALITES SUR LES ALEAS, LES RISQUES ET LES P.P.R.

1.1 - La notion d'aléa et de risque

Le risque R peut être défini de manière théorique comme une mesure probabilisée de l'impact d'un phénomène sur le milieu anthropisé. Pour un site ou une région donnée, il représente l'espérance mathématique des pertes au cours d'une période de référence. Il peut se décomposer en deux fonctions dont il représente le produit :

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

A représente l'Aléa naturel et est défini comme la probabilité pour qu'au cours de la période de référence, un événement atteigne ou dépasse une certaine intensité sur le site étudié. Evaluer l'aléa revient donc à calculer, en un site donné, la fonction de répartition des paramètres caractéristiques de l'événement. Pour caractériser l'aléa, des facteurs de deux types sont à prendre en compte. Il s'agit des facteurs permanents indépendants des notions temporelles, à l'échelle humaine (topographie, géologie, géomorphologie dynamique...) et des facteurs temporels, présents ou passés, ponctuels dans le temps (instabilités historiques, géomorphologie...).

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

Les principaux aléas naturels correspondent aux inondations, cyclones tropicaux, séismes, manifestations volcaniques et mouvements de terrain (glissements, érosion, stabilité des

versants,...). En matière de mouvements de terrains, l'approche probabiliste est plus difficile à cerner que pour des aléas sismiques ou d'inondations. En effet ils dépendent souvent de facteurs aggravants dont certains relèvent d'une analyse probabiliste (variations climatiques courtes, sismicité) et d'autres d'un pur déterminisme (actions humaines) (Masure, 1994).

1.2 - Les Plans de Prévention des Risques naturels prévisibles (P.P.R.) en Métropole et dans les DOM

- Présentation

Les P.P.R. sont des documents d'urbanisme qui délimitent des zones exposées aux risques tels que les inondations, les avalanches, les mouvements de terrain, les incendies de forêt, les séismes, les éruptions volcaniques, les tempêtes ou les cyclones.

En métropole et dans les DOM, c'est la loi "Barnier" du 2 février 1995, relative au renforcement de la protection de la nature, qui a relancé l'action dans le domaine de la prévention des risques naturels. Cette loi présente l'avantage de moderniser et de simplifier le dispositif juridique, avec la mise en place d'un document unique, le P.P.R., qui remplace tous les plans ou périmètres anciens. Ces anciens plans (P.S.S. : Plans de Surfaces Submersibles, P.E.R. : Plans d'exposition aux Risques) demeurent en vigueur tant qu'ils ne seront pas remplacés.

Les P.P.R., mentionnés aux articles 40-1 à 40-7 de la loi du 22 juillet 1987, ont quatre principaux objectifs :

- 1 : délimiter les zones à risques en tenant compte de leur nature et de leur intensité, afin d'interdire tout type d'aménagement ou, de prescrire les conditions dans lesquelles ils doivent être réalisés, utilisés ou exploités;

- 2 : délimiter les zones, non directement exposées, mais où l'aménagement pourrait aggraver les risques ou en provoquer de nouveaux, et donc de prévoir des mesures d'interdiction ou de prescriptions propres à ces zones;

- 3 : définir des mesures de prévention, de protection, et de sauvegarde, en priorité pour les zones mentionnées dans les points 1 et 2. Ces mesures sont prises par les collectivités publiques dans le cadre de leur compétence;

- 4 : définir des mesures relatives à l'aménagement de ces zones, qui doivent être prises par les propriétaires, les exploitants ou les utilisateurs potentiels.

Les dispositions mentionnées en 1 et 2 peuvent être, après consultation des maires concernés, immédiatement rendues opposables par le représentant de l'état dans le département. Cette décision est rendue publique. Il en est de même pour les deux autres mesures, qui en fonction de la nature et de l'intensité du risque, sont à réaliser dans un délai maximal de 5 ans. A défaut de mise en conformité dans les délais prescrits, la réalisation des mesures sera exécutée au frais du propriétaire.

Le P.P.R., institué par le préfet de département, est approuvé par arrêté préfectoral, après enquête publique et avis des conseils municipaux des communes. Il vaut servitude d'utilité publique et est annexé au P.O.S (Plan d'Occupation des Sols). La mairie établit des dossiers d'information sur les risques naturels à différents niveaux (atlas départemental, dossier départemental, dossier d'information à la mairie, presses locales...). La non-conformité à ses servitudes est sanctionnée par des peines prévues dans le code de l'urbanisme. La possibilité d'expropriation de biens exposés à un risque naturel majeur peut être également envisagée, après enquête publique.

Des dispositions complémentaires peuvent s'appliquer dans des cas particuliers (zones particulièrement exposées aux risques sismiques ou cycloniques, risques à fortes conséquences financières...).

- Contenu technique

Selon Garry et al. (1996), les P.P.R. présentent de nombreux atouts :

- leur souplesse (étude mono-risque ou multi-risques), leur niveau de précision (échelles de réalisation), le secteur géographique à cartographier (en privilégiant les bassins de risques) et leurs possibilités de modifications ultérieures;

- l'aspect qualitatif prédominant des études réalisées. Des études complémentaires quantitatives (géotechniques par exemple), qui précisent l'aléa et par conséquent diminuent l'incertitude, peuvent être envisagées au cas par cas;

- la concertation accrue de toutes les compétences en présence pour l'élaboration des P.P.R.

Les études, proprement dites, comportent deux phases, une technique et une autre administrative (Garry et al.,1996). La phase technique consiste à recueillir les données et à les analyser, ces travaux étant réalisés respectivement par les services de l'état et par des spécialistes. La phase administrative qui correspond au zonage réglementaire, est développée par le service instructeur en collaboration avec les spécialistes. Seule cette dernière phase est négociable par les élus.

Le service instructeur désigné par le préfet pour élaborer le P.P.R. doit mettre en œuvre une approche inter-services et pluridisciplinaire, afin de rassembler et de valoriser toutes les données disponibles (données historiques, conditions actuelles du milieu naturel et de son

environnement, composantes de l'occupation humaine).

L'étude est réalisée par bassin de risque. La gestion du risque est donc plus globale et prend en compte des zones à priori non exposées aux risques, mais pouvant avoir des répercussions sur le risque en aval.

L'élaboration du P.P.R. se traduit par quatre étapes qui donnent lieu à la rédaction de plusieurs cartes techniques et d'une carte réglementaire (Garry et al.1996).

1- La carte informative

La carte informative des phénomènes naturels résulte d'une exploitation d'informations variées (archives, études et cartes déjà réalisées, photographies aériennes...) afin d'évaluer la fréquence, la sensibilité des secteurs géographiques concernés, et de déterminer les facteurs naturels ou anthropiques jouant un quelconque rôle dans ces phénomènes. Elle est présentée au 1/25 000 agrandie au 1/10 000.

2 - La carte des aléas

La carte des aléas localise et hiérarchise les zones exposées à des phénomènes potentiels. Cette carte interprétative, qui classe les aléas en plusieurs sous-groupes (fort, moyen, faible et nulle), résulte d'une approche purement qualitative des différents aléas, en termes de nature, probabilité d'occurrence et intensité des phénomènes. Cette cartographie est réalisée sur des fonds topographiques à l'échelle du 1/25 000 agrandis au 1/10 000. La prise en compte du facteur temps est difficile, voir impossible, pour les mouvements de terrain, l'érosion est appréciée, quant à elle, à l'échéance de 100 ans. Les aléas dus aux mouvements de terrain, de part leur forte diversité, sont classés en fonction par exemple d'un potentiel de dommage par type de construction. Cette démarche qualitative intègre une certaine marge d'incertitude.

3 - La carte d'appréciation des enjeux

L'appréciation des enjeux existants et futurs permet de vérifier d'une part que le niveau de précision des études est adapté à la zone étudiée,

d'autre part d'orienter les prescriptions réglementaires. Cette analyse est réalisée principalement à partir de la superposition de la carte des aléas et celle de l'occupation des sols. Cette phase peut faire l'objet d'une représentation cartographique.

4 - Le plan de zonage du P.P.R.

Le plan de zonage du P.P.R. a pour but de prévenir le risque en réglementant l'occupation et l'utilisation des sols. Cette réglementation s'applique à des zones dans lesquelles sont définies les interdictions et les prescriptions réglementaires. Ce document peut être établi au 1/ 5000 dans les zones où les enjeux sont importants. Les zones sont délimitées en confrontant la carte des aléas à l'appréciation des enjeux. Chaque famille de phénomène est représentée par une couleur différente, chaque type de phénomène par un figuré et les niveaux d'aléas sont représentés par des tons de couleurs différentes. Le plan de zonage est finalement annexé au P.O.S. à l'échelle du 1/5 000 imposant parfois une transcription plus ou moins complexe.

Des documents complémentaires peuvent être éventuellement joints à l'étude dans un souci de clarté. Il s'agit notamment de documents techniques intermédiaires qui ont pu être réalisés au cours de l'étude (cartes géomorphologiques, hydrologiques, de hauteur de submersion, de facteur de prédisposition pour les mouvements de terrain...).

- Contenu juridique d'un P.P.R.

Les dispositions réglementaires visent à améliorer la sécurité des personnes et à stopper, puis réduire la croissance de la vulnérabilité des biens et des activités dans les zones exposées. Leurs définitions s'appuient principalement sur les études antérieures, mais aussi sur les concertations et des consultations menées lors de l'élaboration du document. Ces dispositions peuvent être différentes pour un même niveau d'aléa selon les vocations des zones, l'importance des risques et la destination ou l'usage des constructions. Dans tous les cas elles doivent être faciles à appliquer et à percevoir

pour les destinataires. La rédaction du règlement, interdépendant du plan de zonage, présente clairement les dispositions réglementaires qui renvoient à chaque type de zone délimitée et indexée dans les documents graphiques (Garry et al.,1996).

DEFINITION DU RISQUE

Le **risque R** peut être défini de manière théorique comme une mesure de l'impact d'un phénomène sur le milieu anthropisé. Il peut se décomposer en deux facteurs :

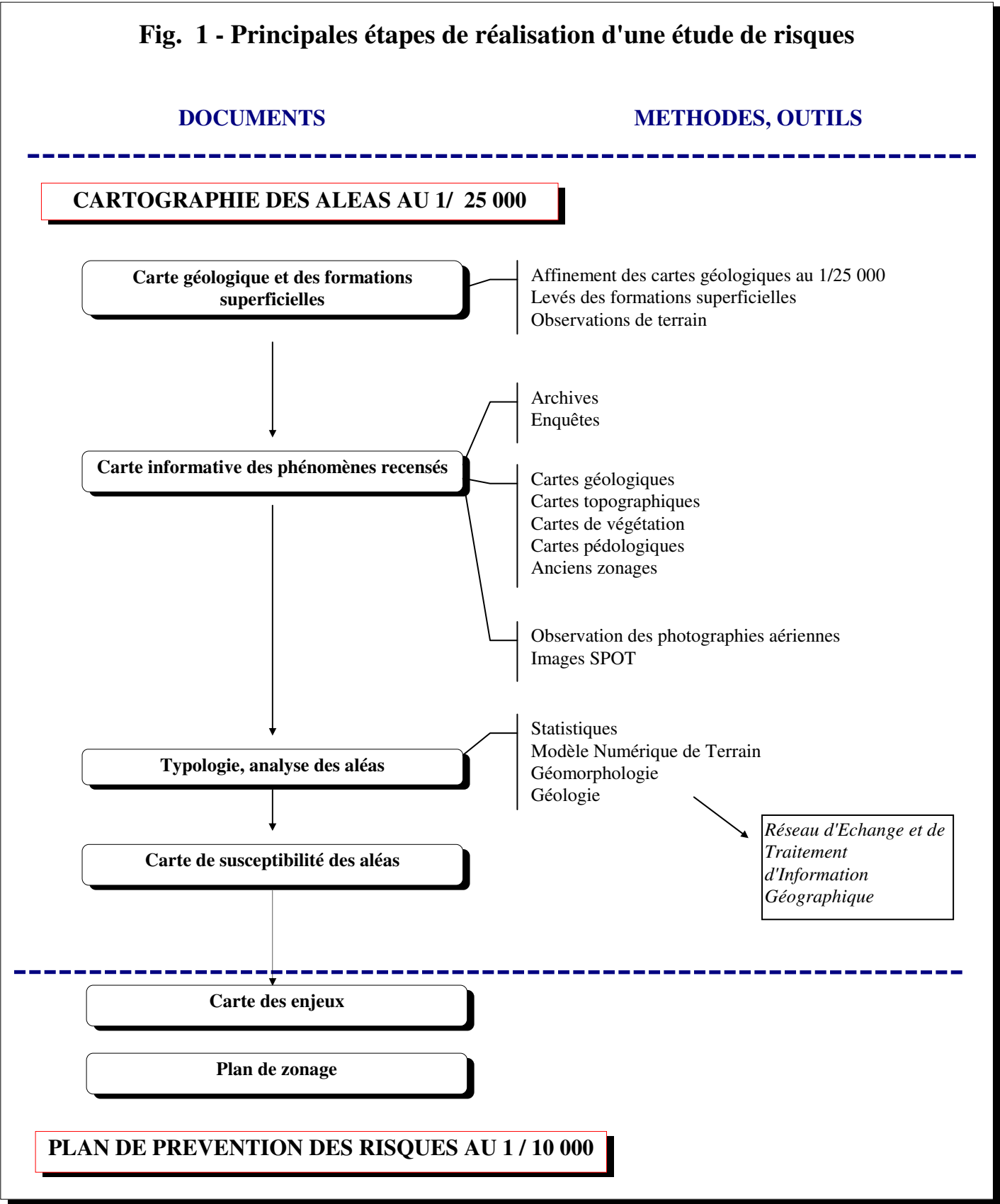
$$\text{Risque} = \text{Aléa} \times \text{Vulnérabilité}$$

L'**aléa naturel** est défini comme l'occurrence d'un phénomène d'intensité donnée (définition adoptée par la Délégation aux Risques Majeurs, 1984). Evaluer l'aléa revient donc à calculer, en un site donné, la fonction de répartition des paramètres caractéristiques de l'événement : topographie, géologie, géomorphologie, instabilités historiques.

La **vulnérabilité** au sens le plus large, exprime le niveau de conséquences prévisibles d'un phénomène naturel sur les enjeux (biens et personnes, vulnérabilité économique et vulnérabilité humaine). Elle désigne aussi quelquefois la valeur de l'endommagement. C'est un facteur complexe de deux natures différentes :

- Physique, comme la stabilité des constructions aux mouvements du sol.
- Socio-économique, tels que la perception du risque par la population ou l'organisation de la gestion de la crise.

Dans un désert parfait, la vulnérabilité est nulle, et par conséquent le risque est nul.



2 - LA NOUVELLE-CALEDONIE : CONTEXTE, SPECIFICITE ET TRAVAUX ANTERIEURS EN TERME D'ALEAS ET DE RISQUES

2.1 - Les principaux aléas naturels en Nouvelle-Calédonie

2.1.1 - Cyclones et inondations

Le risque naturel le plus important en Nouvelle-Calédonie provient des cyclones (par conséquent, les effets des cyclones mériteraient une étude détaillée).

Les cyclones tropicaux surviennent en saison chaude (mi-novembre à mi-avril). Les dégâts causés sont dus au vent, aux précipitations qui provoquent des inondations et aux marées de tempêtes. Les inondations sont fréquentes en période de crues. Les plaines de la frange côtière ouest sont particulièrement exposées, ce phénomène étant amplifié par l'exhaussement du fond des lits mineurs dont la charge solide est abondée par des déblais miniers. Les deux phénomènes associés, marées de tempêtes et précipitations, aggravent également les crues.

2.1.2 - Séismes

En Nouvelle-Calédonie, les séismes locaux ressentis affectent une région allant de Tontouta à la région de Thio-Canala. Ouvéa et Lifou peuvent plus rarement ressentir des séismes locaux (Louat et Baldassari, 1989). Selon ces auteurs, un raz de marée ayant pour origine un tremblement de terre est peu probable sur la Grande-Terre, grâce à l'effet protecteur de la barrière de corail. Compte-tenu de cette protection naturelle, un raz de marée ayant pour origine un tremblement de terre à proximité de la zone de subduction des Nouvelles Hébrides-Vanuatou est peu probable (Louat et Baldassari, 1989). Selon ces auteurs, la Grande Terre semble à l'abri des tsunamis transocéaniques.

2.1.3 - Mouvements de terrain et érosion

La Grande Terre présente sur la quasi-totalité de son grand axe (400 km) un fort relief. Bien que les hauts sommets dépassent rarement 1600 m, la largeur de l'île n'est en moyenne que de 40 kilomètres. La plupart des fleuves n'ont donc que la moitié ou moins de cette distance (à vol d'oiseau) pour "dégringoler" jusqu'à la mer. Les entailles sont profondes, les vallées encaissées. Les populations se concentrent essentiellement sur le littoral ou dans les embouchures.

L'un des traits géologiques fondamental de la Grande Terre est constitué par **les massifs de péridotites ou "massifs miniers"**. La plupart des risques naturels leur sont liés. Ces massifs, mis en place pendant l'orogénèse alpine sur un substrat volcano-sédimentaire, sont en position topographique dominante. Leur nature physique résistante leur confère un rôle d'armature au sein des paysages calédoniens. Ils constituent les principaux reliefs par rapport au substrat schisteux dont la morphologie est généralement plus molle. Le point culminant du Territoire est un massif de péridotite (Mont Humboldt, 1628 m).

L'altération propre au milieu tropical fragilise à divers degrés les formations géologiques. Sur le substrat volcano-sédimentaire, on assiste à une argilification intense, mais c'est surtout dans les massifs de péridotites que la roche mère est complètement transformée en latérite, sorte de résidu terreux constitué en majorité d'hydroxydes de fer, formant un manteau épais parfois de plusieurs dizaines de mètres. Les éléments primitifs géochimiques y sont complètement redistribués. Le nickel, en particulier qui se retrouve piégé à la base des profils d'altération. Au-dessous de ces latérites, une altération pénétrante se

poursuit parfois à grande profondeur au sein des massifs.

Les sols ferrallitiques qui se développent sur ces ensembles altéritiques présentent une faible fertilité naturelle en raison de nombreuses carences et de la toxicité due aux métaux. En conséquence, la couverture végétale qui a réussi à s'adapter à ce milieu difficile, est très fragile.

Cette puissante altération est le corollaire d'un climat chaud et humide qui prévaut encore dans la période actuelle. L'abondance et la chronicité des précipitations gouvernent le processus d'altération à long terme, préparant ainsi le terrain à des **crises aiguës pluviométriques**, qui jouent le rôle de déclencheur des aléas naturels. Des intensités pluviométriques supérieures à 100 mm/h sont rapportées au passage de **cyclones ou de dépressions tropicales**. On relève un record de 1392 mm tombés en 24 h. sur le Mont Humboldt lors du passage du cyclone Anne en 1988.

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

Les aléas résultants sont nombreux : des mouvements de terrains divers tels que glissements, écroulements, coulées boueuses, des zones de forte érosion avec ravinement actif à l'amont et engravement des rivières à l'aval, des zones de débordement torrentiel. Les cas les plus bénins concernent des inondations ou des pollutions de rivières par des boues rouges latéritiques. Les cas les plus graves consistent en coulées de "laves torrentielles". Si ces aléas n'ont

pas encore fait de victimes directes, les dégâts sur les biens sont importants : réseaux linéaires divers coupés (voirie, lignes électriques, adductions d'eau), franchissements emportés, propriétés dégradées, captages détruits, rivières engravées ou polluées, lotissements inondés, installations minières endommagées.

Enfin l'activité humaine avec l'industrie minière vient interférer dans cette situation déjà fort complexe. Si l'effet anthropique des exploitations actuelles sur le milieu naturel est minimisé par les mesures imposées actuellement, il n'en a pas toujours été de même par le passé. Il importe donc dans une telle situation de donner les éléments les plus précis possible pour permettre de faire la part de ce qui revient au milieu naturel et de ce qui relève de l'anthropisation.

Ce contexte très spécifique à la Nouvelle-Calédonie (spécificité aussi forte que celle des Antilles avec ses phénomènes volcaniques par exemple) demande en retour une étude adaptée. Au-delà du simple inventaire des zones d'aléas, nous avons donc cherché à comprendre les règles de distribution du monde des altérites et les mécanismes de déclenchement des aléas et donc opté pour une analyse des différents phénomènes observés, dans leur contexte géologique et historique. Cette démarche facilitera par la suite la réalisation des cartes de susceptibilité, fruit de la généralisation à l'ensemble du paysage géomorphologique, des paramètres dégagés dans la phase analytique.

3 - ZONE D'ETUDE DU PROGRAMME 2000 - 2001

La zone d'étude concernant la Province Sud pour le programme 2000 - 2001 couvre une région d'environ 20 x 10 km, (figure 2). Elle est centrée sur la commune de Thio et comprend, géologiquement et géomorphologiquement parlant, les deux versants de la partie aval de la vallée de la Thio, entre la mine Bel-Air et l'embouchure.

Le secteur de Thio est concerné à double titre par les aléas naturels : inséré dans une région montagneuse, il est exposé à tout un cortège de risques naturels; plus ancien secteur d'exploitation du territoire, il est au centre de la problématique de l'impact de l'activité minière sur le milieu naturel.

Les phénomènes déclenchés par les épisodes de fortes précipitations concernent toute une chaîne qui se relaie de l'amont vers l'aval, depuis les versants jusqu'à la vallée de la Thio. Les aléas concernés sont divers, depuis les mouvements de terrains sur les versants (glissements, laves torrentielles, ravinements), puis l'aléa torrentiel au sens large (débordements, charriages) et enfin l'aléa inondation dans la vallée principale de la Thio. Ils font parti pour la plupart d'un mode naturel d'évolution des paysages en milieu montagneux.

Les activités extractives, viennent interférer dans ce schéma à tous les niveaux. Cela concerne plus particulièrement les anciennes zones d'exploitation et les anciennes pratiques dont il faut bien gérer l'héritage. Les divers aménagements ont pu changer les équilibres en présence. L'augmentation des surfaces mises à nu a accru le ruissellement qui en retour a augmenté la charge solide des cours d'eau. Au final, le comblement du lit de la Thio est accusé d'aggraver les inondations de la grande plaine alluviale.

Faire la part de ce qui revient au milieu naturel et de ce qui relève de l'activité anthropique a donc été notre premier objectif dans ce travail.

Au-delà, il nous a semblé que ne pas prendre en compte globalement tous les aspects des risques naturels de ce secteur et ne pas faire le lien avec les activités minières passées, serait illogique et peu utile. Nous avons donc essayé d'intégrer le plus grand nombre de données disponibles concernant les différents types de risques, bien que seul le risque "mouvement de terrain" soit l'objet de cette étude.

3.1 - Travaux antérieurs réalisés

Plusieurs travaux intéressants, concernant directement les aléas sont disponibles dans la région de Thio. On relève :

- Protection contre les risques naturels et lutte contre l'érosion à Thio. Aménagement du versant nord du Ningua et des rivières Nakalé et Kouangoué (Perinet, 1989).
- Protection contre les risques naturels et lutte contre l'érosion en Nouvelle-Calédonie. Compte-rendu de mission, 18 avril – 2 mai 1989 (Dinger, Tachker, 1989).
- Commission de réhabilitation de la région de Thio. Etude des transports solides torrentiels (creek Jeanne et Marie, creek Kouangoué, rivière Nakalé), CEMAGREF, (Meunier, 1990).
- Commission de réhabilitation de la région de Thio. Compte-rendu de mission, Analyse de la torrentialité du creek Jeanne et Marie et des aménagements au niveau de la RT4, CEMAGREF, (Meunier, 1990).
- Contribution à l'étude des processus d'érosion et des risques naturels dans les îles du Sud-Ouest Pacifique (Nouvelle-Calédonie et Îles Salomon) (Laganier, 1994).
- Expérimentation de la méthode de cartographie hydrogéomorphologique en Nouvelle-Calédonie (Garry, 1998).

- Programme général de la mise en valeur de la région de Thio (composante géosciences). Reconnaissance écologique de l'estuaire de la Thio et de sa microfaune benthique (Allenbach - UNC, 1999).

- Réaménagement des sites miniers de Thio Plateau et Saint-Louis. Etat des lieux Thio Plateau Phase A (Siras Pacifique, 2001). Etude menée dans le cadre du programme européen SYSMIN (7^{ème} FED).

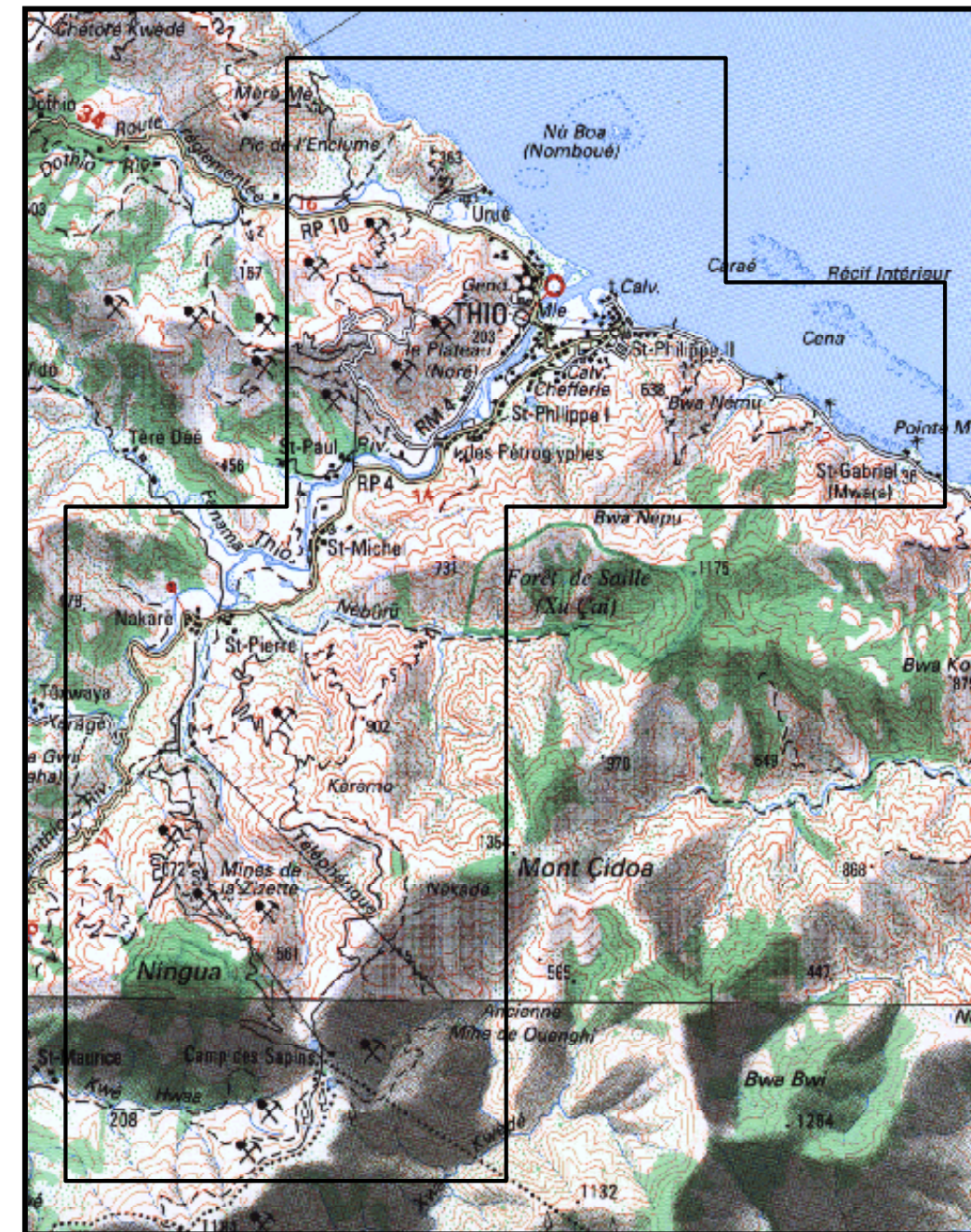


Fig. 2 – Zone d'étude du programme 2000 - 2001

4. - PRINCIPAUX RESULTATS

4.1 - CARTE GEOLOGIQUE ET DES FORMATIONS SUPERFICIELLES

La zone d'étude est à cheval sur deux cartes géologiques levées à l'échelle du 1 / 50 000, à des époques différentes et de factures dissemblables : feuille de Thio (J. Lozes, 1976) et feuille de Bouloupari (A. Noesmen, 1970). Ces deux cartes datent donc respectivement de 25 et 30 ans. La carte de Bouloupari est notoirement sommaire et imprécise en particulier au niveau des massifs de péridotite et des latérites. Sur la carte de Thio en revanche, un effort a été visiblement fait dans ces domaines. Ces cartes, à une telle échelle et avec les documents de l'époque (photographies aériennes antérieures à 1976) ne peuvent prétendre à une grande qualité. Il est inutile cependant de trop critiquer ces documents désormais obsolètes, qui représentent une étape de la connaissance géologique de la région, la priorité étant à l'époque de privilégier la connaissance fondamentale des formations du substrat.

Pour les besoins de la présente étude, une nouvelle cartographie a été réalisée. Une vue synthétique en est présentée en figure 3. Son échelle de validité est le 1 /25 000, bien que dans la plupart des cas, les levés aient été réalisés sur des supports topographiques à l'échelle du 1 /10 000 et avec l'aide de photographies aériennes en couleurs (photographies SLN). Au niveau du plateau de Thio, la cartographie intègre des données fournies par la Société Le Nickel (Plan de synthèse géologique du plateau de Thio), en particulier une carte de synthèse géologique et structurale. La carte détaillée à l'échelle du 1 / 25 000 est présentée en annexe 1. L'effort a bien entendu porté sur les formations superficielles et d'altération. Faisons le tour de ce document, en mettant l'accent sur ce qu'il apporte de nouveau par rapport aux éditions précédentes.

4.1.1 - Formations volcano-sédimentaires du substrat

4.1.1.1 – Permien et Trias

Ces terrains, les plus anciens de la zone d'étude, sont représentés par des tufs remaniés de

granulométrie généralement fine, admettant des passées microconglomératiques ou des lits d'argilite indurée. Dans la formation attribuée au Permien, les affleurements sont massifs et peu structurés. Le litage est difficile à observer. Dans la formation attribuée au Trias, la stratification est plus apparente.

On peut distinguer un pôle volcanoclastique qui domine largement sur un pôle sédimentaire constitué par des siltites et des argilites noires.

Ces formations déterminent des reliefs peu élevés, mous, occupés par la savane à niaoulis et les forêts galeries. La roche, indurée, résistante, est en règle générale peu altérée. Leur altération superficielle produit des argiles sur quelques décimètres, chargées de fragments rocheux, que l'on rencontre surtout dans les fonds de vallons et les bas de pente.

4.1.1.2 – Argilites, grès et charbons du Crétacé

Cet ensemble probablement discordant sur le précédent, est constitué par un fond sédimentaire d'argilites, de grès fins et de silts, admettant de rares décharges volcanoclastiques acides. Les intercalations de laves et de tufs connues plus au Sud, dans la région de Nouméa, n'ont pas été rencontrées dans cette zone.

Les argilites qui forment le fond sédimentaire de cette série, s'intercalent de niveaux :

- de grès,
- de grès feldspathiques blancs, tuffacés, trachytiques à rhyolitiques,
- de conglomérats à éléments volcaniques plus ou moins roulés,
- de niveaux charbonneux en lentilles,
- des niveaux de silts.

Les argilites, improprement qualifiées de "schistes" (la schistosité ne s'y développe que localement), contiennent des nodules calcaires.

4.1.1.3 – Phtanites et calcaires paléocènes

Il s'agit d'un ensemble sédimentaire surmontant en continuité les argilites sénoniennes. Trois pôles lithologiques sont présents :

- un pôle alumineux, prolongement du fond de sédimentation crétacé,
- un pôle siliceux représenté par des cherts, classiquement dénommés "phtanites" (P. Routhier, 1953),
- un pôle carbonaté, représenté par des calcaires pélagiques sublithographiques.

Ces membres lithologiques sont étroitement imbriqués, mais on remarque une association fréquente entre calcaires et phtanites, l'épaississement des premiers étant concomitant de celui des seconds, le tout au détriment des argilites. Cette formation est essentiellement développée dans la vallée de la Koua.

Les schistes siliceux sont constitués d'argilites et de petits bancs d'épaisseurs centimétriques de phtanite interstratifiés.

Les phtanites sont constituées d'un empilement de bancs d'épaisseur décimétrique de cherts siliceux amygdalaires, de couleur noire à l'état frais, mais devenant blancs par dépigmentation lors de l'altération. Une phase sulfurée, pyriteuse est souvent présente. Il s'agit de cherts d'origine hydrothermale. Ils sont le plus souvent intensément plissotés et boudinés par la tectonique. Les joints entre les lits sont argileux.

De grandes quantités d'éboulis, et de formations de pente empâtent généralement les phtanites et peuvent localement déborder sur les formations environnantes. En surface, l'accumulation de fragments de quartz blancs dépigmentés constitue souvent un tapis qui a été autrefois qualifié de "caillasse blanche".

Les calcaires pélagiques à pâte sublithographique et cassure conchoïdale, sont micritiques gris, à fréquents lits de cherts, à microfaune planctonique (globigérines).

4.1.1.4 - Basaltes

Ils occupent une bande développée sous la nappe des péridotites entre Saint-Michel et Saint-Paul, en aval du village des Pétroglyphes. Ils forment un ensemble indistinct de dolérites et basaltes vacuolaires à structures en "pillow lava" fréquentes, où les intercalations sédimentaires sont mineures et réduites à quelques niveaux d'argilites et de cherts ferromanganeux de couleur pourpre.

Très fracturés et écaillés, ils présentent une altération pénétrante importante et déterminent des pentes douces.

4.1.1.5 – Flyschs éocènes

Ces terrains qui affleurent dans la région de Saint-Pierre sont discordants sur les formations d'âges mésozoïques. Ils sont constitués par des alternances régulières de conglomérats, de grès, d'argilites et de brèches à ciment carbonaté.

4.1.2 - Formations des massifs de péridotites

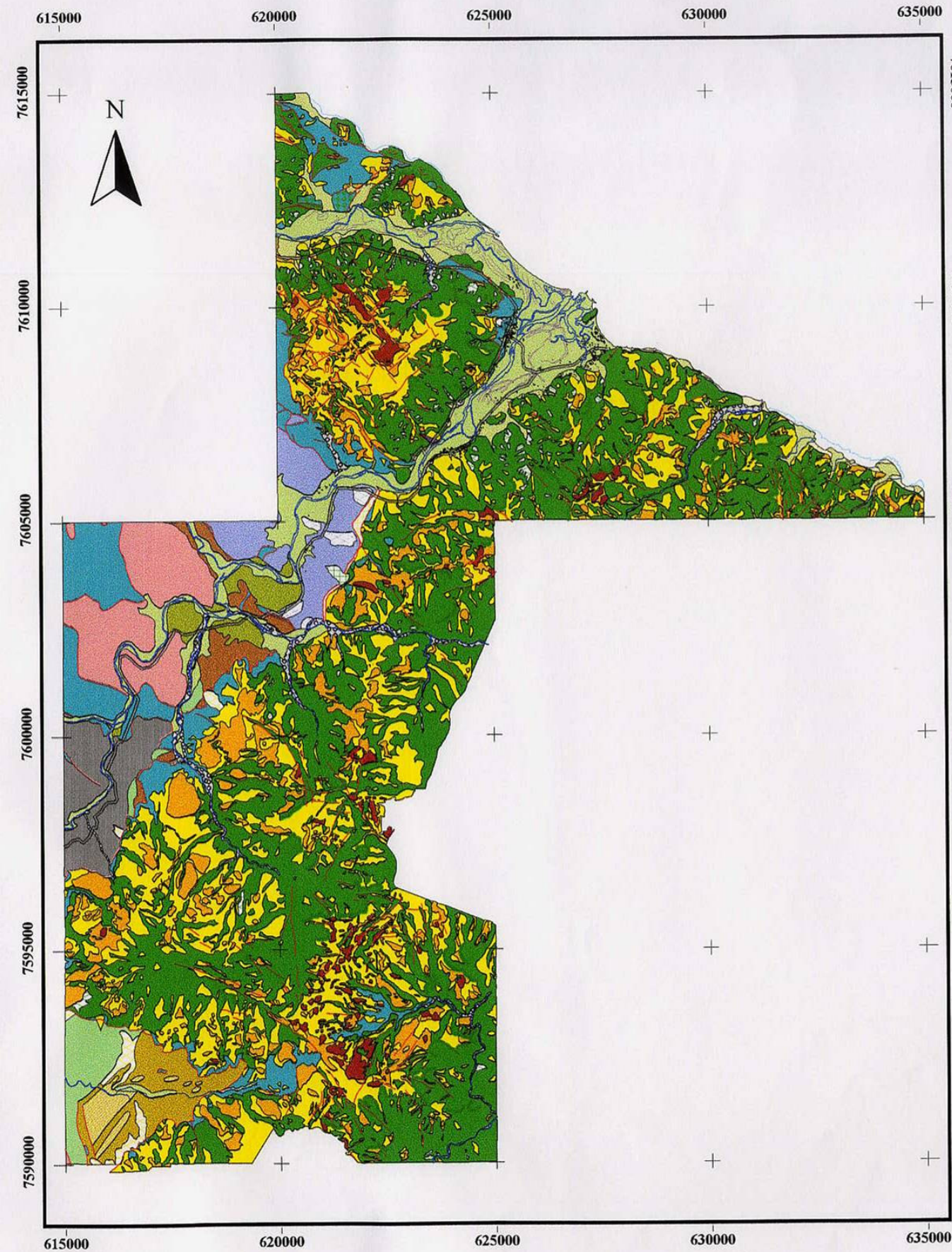
Les péridotites qui appartiennent à la grande unité du massif du Sud, charriées sur le substrat volcano-sédimentaire, forment avec leur cortège d'altérites un vaste ensemble.

4.1.2.1 - Péridotites, serpentinites et murs de silice

Les péridotites non altérées sont essentiellement constituées par des harzburgites présentant un degré de serpentinitisation et de fracturation très variable, alternant avec des niveaux de dunite subordonnée.

A l'exception de quelques rares accidents tectoniques situés à l'intérieur de la masse principale des péridotites, les ensembles de serpentinites sont confinés à la sole basale de charriage. Elles peuvent être imprégnées de silice. La semelle serpentineuse est largement développée en rive gauche de la vallée de la Thio, au SW du plateau de Thio. Elle est beaucoup plus discontinue en rive droite, sous le chevauchement du Massif du Sud.

Fig. 3 - Carte géologique et des formations superficielles



FORMATIONS D'ORIGINE ANTHROPIQUE

- Remblais
- Charriage de matériaux grossiers en rivière
- Charriage de matériaux fins en rivière

FORMATIONS ALLUVIONNAIRES ET LITTORALES

FORMATIONS LITTORALES ACTUELLES

- Sables coquilliers et argiles

FORMATIONS FLUVIAILES ACTUELLES

- Alluvions actuelles
- Alluvions anciennes
- Alluvions et cônes torrentiels

MASSIF MINIER

FORMATIONS D'ALTERATION REMANIEES

- Coulée à dominante latéritique
- Coulée à dominante péridotitique
- Eboulis de péridotites
- Eboulis de blocs de quartz sur basalte

FORMATIONS D'ALTERATION IN SITU

- Cuirasse démantelée
- Latérites épaisses
- Latérites minces

FORMATIONS DES PERIDOTITES

- Péridotites indifférenciées
- Péridotites serpentinisées
- Serpentine
- Mur de silice
- Silice et serpentine

SUBSTRAT VOLCANO-SEDIMENTAIRE

- Flysch carbonaté (Eocène)
- Basaltes (Eocène)
- Calcaires sublithographiques (Paléocène)
- Phtanites (Paléocène)
- Argilites, grès et charbons (Crétacé)
- Formation volcano-sédimentaire (Trias)
- Formation volcano-sédimentaire (Permien)

- Chevauchement basal et principales failles
- Chenaux et anciens cordons littoraux

A la hauteur de Saint-Michel, se développe un important "mur de silice" (listvénite), imprégnation d'origine hydrothermale, ayant transformé la serpentine encaissante en carbonates (dolomie) et silice. Des anomalies en arsenic et or témoignent de l'origine endogène de cette altération (Inventaire Minier, BRGM, 1982). L'altération supergène tardive de ce faciès donne, par dissolution des carbonates et des noyaux péridotitiques, un squelette résiduel siliceux.

La masse principale des péridotites est affectée par de nombreux accidents à toutes échelles. Les conditions d'observation et la connaissance géologique sont inégales entre les zones exploitées de longue date comme celle du plateau de Thio où l'information est surabondante et des zones peu accessibles comme la rive droite de la Thio entre Saint-Michel et Saint-Gabriel. Toutefois une structuration constante semble se dégager avec deux familles de discontinuités orientées respectivement N 135° et N 40°. Ce système est particulièrement bien connu sur le plateau de Thio où il contrôle la plupart des amas nickélifères.

Au niveau de l'embouchure de la Thio, l'inselberg du Bota Méré montre des caractéristiques très particulières. Le rubanement des péridotites qui est habituellement peu variant à l'échelle de la nappe ophiolitique (orientation uniformément N 135° pour un pendage de 40 à 60° vers le NE), est ici verticalisé. Sa direction est N 40°, grossièrement parallèle à l'allongement du rocher. Ce bloc singulier est découpé par des diaclases régulièrement espacées, délimitant des "bancs" subhorizontaux de 20 à 30 cm d'épaisseur, lesquels sont affectés par des plis isopaques et découpés par une famille de failles N 40°. Une explication de cette structure aberrante sera proposée plus loin (cf. chapitre 4.2.1 Modèle Numérique de Terrain),

4.1.2.2 - Latérites in situ

Il importe de détailler les formations altéritiques. WHIRTHMAN (1965, 1970), a été le premier à souligner le caractère karstique de cette

altération avec dissolution chimique, accompagné de départ par soutirage et tassement des altérites. Le vocabulaire du karst et couramment employé par différents auteurs : "surfaces lapiazées", "dolines", "poljés". La dissolution chimique s'exerce au dépend des silicates ferro-magnésiens et produit une grande quantité de résidus ferrugineux dont la plupart demeurent "in situ". L'accumulation des résidus conduit à la formation d'un manteau d'altérite.

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

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

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

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

3 - l'horizon de transition à texture encore reconnaissable où se continue l'hydrolyse des

silicates et où les noyaux sains ont totalement disparus. C'est une saprolite terreuse.

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

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

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

Le profil idéal peut présenter d'innombrables variantes selon la nature (lithologique, tectonique) de son substrat, sa position topographique (plateau, crête, versant, fond de vallée), mais surtout selon l'histoire géologique plus ou moins complexe qu'il a subi et donc enregistré, altération, érosion et sédimentation se disputant leur part respective.

Dans la pratique cartographique, à l'échelle du 1 / 25 000, il n'est guère possible de représenter toutes ces nuances. Aussi ne trouvera-t-on sur la

carte géologique et des formations superficielles que les entités suivantes :

- **Les latérites épaisses** englobent des ensembles de terre bien différenciés où l'épaisseur dépasse 10 m. Elles sont souvent surmontées par des flaques de **cuirasse ou d'éléments de cuirasse démantelés**. 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, incluent des zones de versants, des bordures d'alvéoles. 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 signes de sédimentation sont fréquents (blocs, niveaux de grenaille). Des sillons étroits, des poches latéritiques peuvent occasionnellement apparaître. 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 correspondants au départ de plaques de latérite accompagné de blocs du substrat péridotitique. Ce matériau s'étale en coulées plus ou moins longues et larges en contrebas. La végétation est généralement constituée par un tapis de fougères argentées.

4.1.2.3 - Altérites 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.

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

- des profils latéritiques en partie remaniés incorporant notamment des blocs de péridotites,

- des épandages localisés de latérites à grenailles pisolithiques,
- des coulées contenant en proportion variable blocs rocheux et latérite boueuse,
- des éboulis de blocs de péridotites ou de blocs de silice.

4.1.3 - Formations alluvionnaires et littorales

Les alluvions qui comblent les vallées de la Thio et de la Dothio sont composées pour l'essentiel de limons, sables, graviers et galets de matériaux provenant des massifs de péridotite et de leur couverture latéritique. De l'amont vers l'aval on peut distinguer :

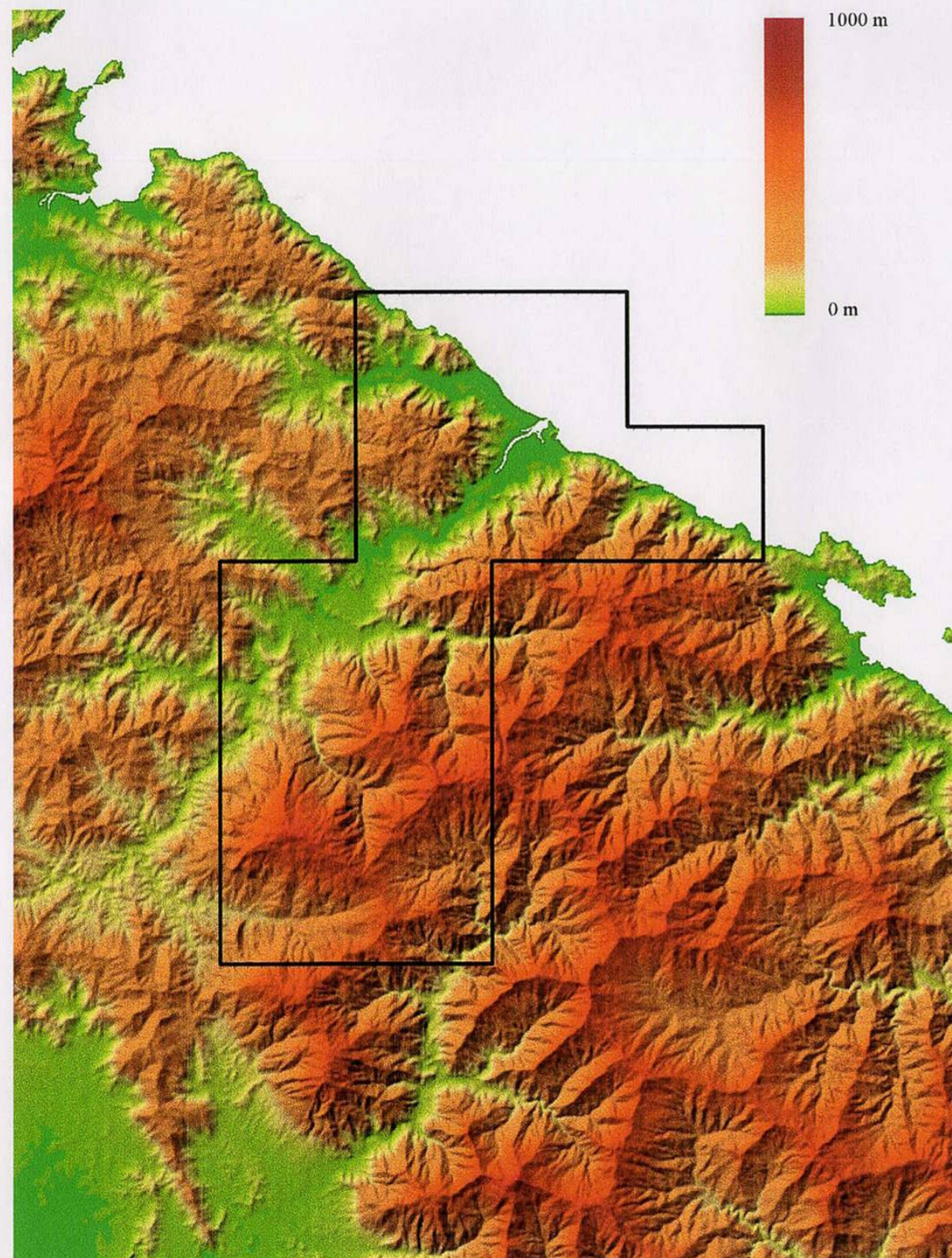
- les alluvions torrentielles grossières en zone de forte pente formant souvent des cônes de déjection,
- un ensemble alluvionnaire légèrement surélevé dans le secteur Saint-Michel - Saint-Pierre - Nakalé, à l'altitude 15 – 20 mètres.
- la grande masse alluvionnaire formant le remplissage des basses vallées de la Thio et de la Dothio, lit majeur et lit mineur compris, incluant d'anciens méandres aujourd'hui abandonnés.

Les formations littorales regroupent les zones de mangrove en bord de mer, les plages, les cordons littoraux construits au cours des temps dans les zones où les influences fluviales et marines s'affrontent.

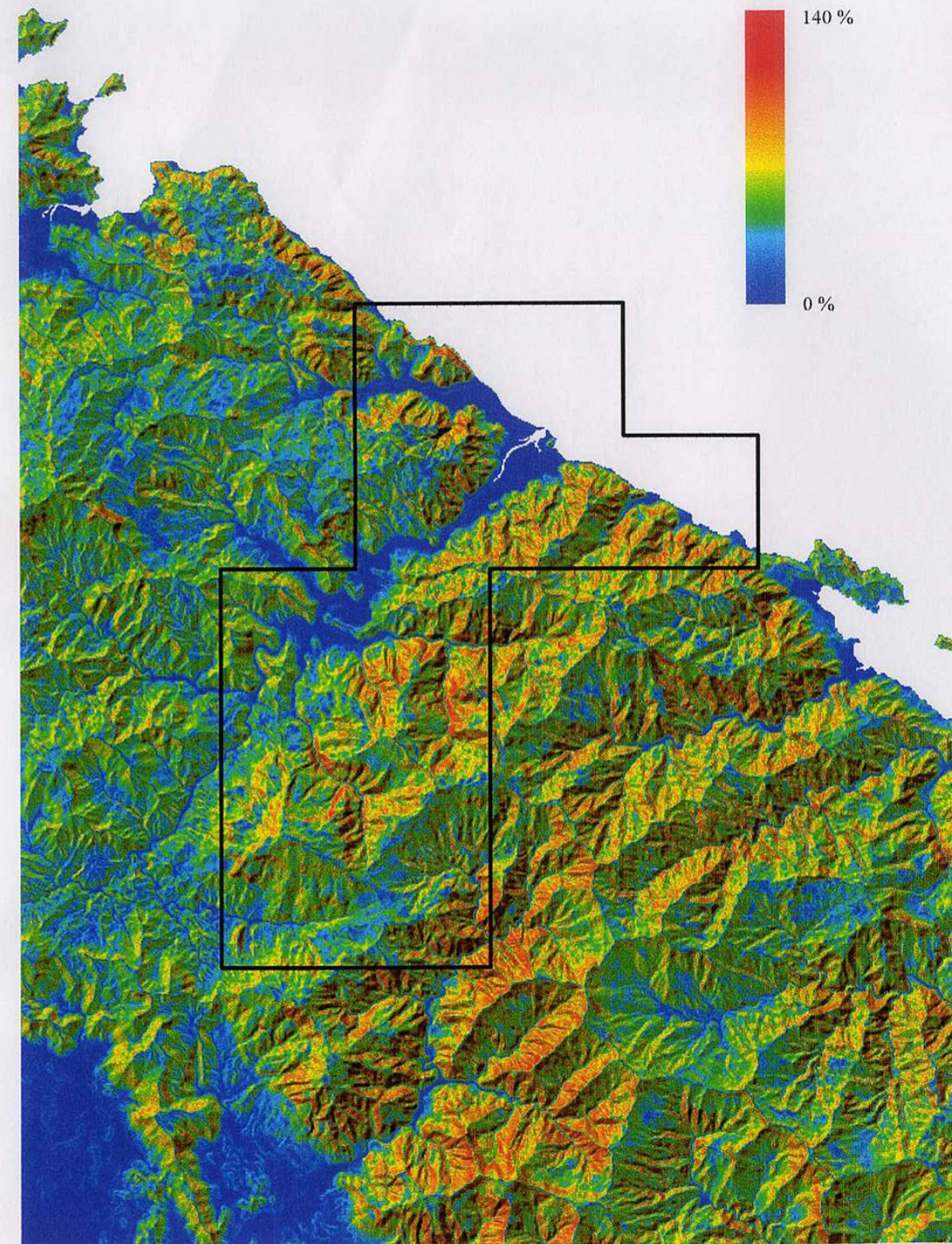
Cartographie des formations superficielles et des aléas mouvements de terrain, zone de Thio - Nouvelle-Calédonie

Fig. 4 - Modèle Numérique de Terrain de la région de Thio (maille de 50 m) : 1 / 200 000

Altitude



Pente



MNT réalisé à partir des fonds à 1:50 000 de l'Institut Géographique National pour la Nouvelle-Calédonie ©

4.2 - MODELE NUMERIQUE DE TERRAIN - IMAGES SATELLITALES

4.2.1 - Modèle numérique de terrain

Le relief est une donnée fondamentale des études de risque. Couplé à la géologie des formations superficielles et à la télédétection, son étude permet de déceler, par exemple, les anomalies de formes du paysage trahissant souvent d'anciens désordres ou encore de reconstituer les diverses étapes de l'érosion des reliefs. On aboutit ainsi à une compréhension des phénomènes, permettant de dépasser le stade du simple inventaire des désordres.

Il est donc nécessaire de disposer d'un modèle représentatif de l'altitude en tout point de la zone d'étude. Pour ce faire, on acquiert un Modèle Numérique de Terrain (MNT) qui permet par divers calculs informatiques de mieux quantifier les critères morphologiques et par delà apprécier l'aléa. A partir de cette donnée de base, il est possible de dériver toute une série de paramètres du relief tels que : pente, courbure (concavité/convexité), drainage, exposition. Le MNT apparaît ici comme un moyen très puissant pour individualiser des variables pertinentes du paysage que l'œil humain n'appréhende que globalement.

Dans le cadre de cette étude ont été utilisés :

- le MNT à la maille de 50 mètres disponible sur l'ensemble de la Nouvelle-Calédonie (figure 4),
- un MNT à maille de 10 mètres générés par le SMAI, à partir des informations altimétriques des cartes topographiques à 1 / 10 000, sur une partie de la bande côtière.

Sur la figure 4, le MNT met bien en évidence un fort contraste géomorphologique entre les deux rives de la Kuenthio. Ceci est particulièrement net au niveau de l'embouchure et du village de Thio. Alors que les formations géologiques sont de même nature sur chaque rive (péridotites avec leurs couvertures de latérites), les formes du relief sont très dissemblables avec en rive gauche, le "plateau de Thio" au modelé adouci supportant des reliques d'aplanissements, et en rive droite des crêtes aiguës aux flancs beaucoup plus pentus et aux vallées profondément

incisées. Cette opposition est corroborée par le fait qu'en rive gauche, les principales zones d'aplanissements du plateau et leurs couvertures altéritiques épaisses et différenciées (y compris des restes de cuirasse) sont comprises entre les altitudes 450 et 500 mètres, alors qu'en rive droite il faut monter à une altitude d'environ 750 mètres pour trouver des témoins d'altération comparables bien que beaucoup plus discrets.

Ainsi, le tracé rectiligne à grande échelle de la vallée de la Kuenthio (N. 40°) semble correspondre à un accident majeur limitant le Massif du Sud vers le NW. L'âge de cet accident (ou plus probablement de ce faisceau d'accidents) est relativement récent puisqu'il affecte le modelé morphologique. On est d'ailleurs frappé par le fait qu'aucun accident de cette direction n'ait été cartographié par les auteurs des cartes géologiques au 1 / 50 000, aussi bien dans le substrat volcano-sédimentaire que dans les péridotites. Si l'on fait l'hypothèse de la contemporanéité des restes de cuirasse entre le plateau en rive gauche et le massif en rive droite, de part et d'autre de l'embouchure, il faut admettre que cet accident récent à une composante essentiellement en faille normale dont le rejet à cet endroit pourrait avoir une ampleur de 250 mètres, le compartiment NW étant abaissé.

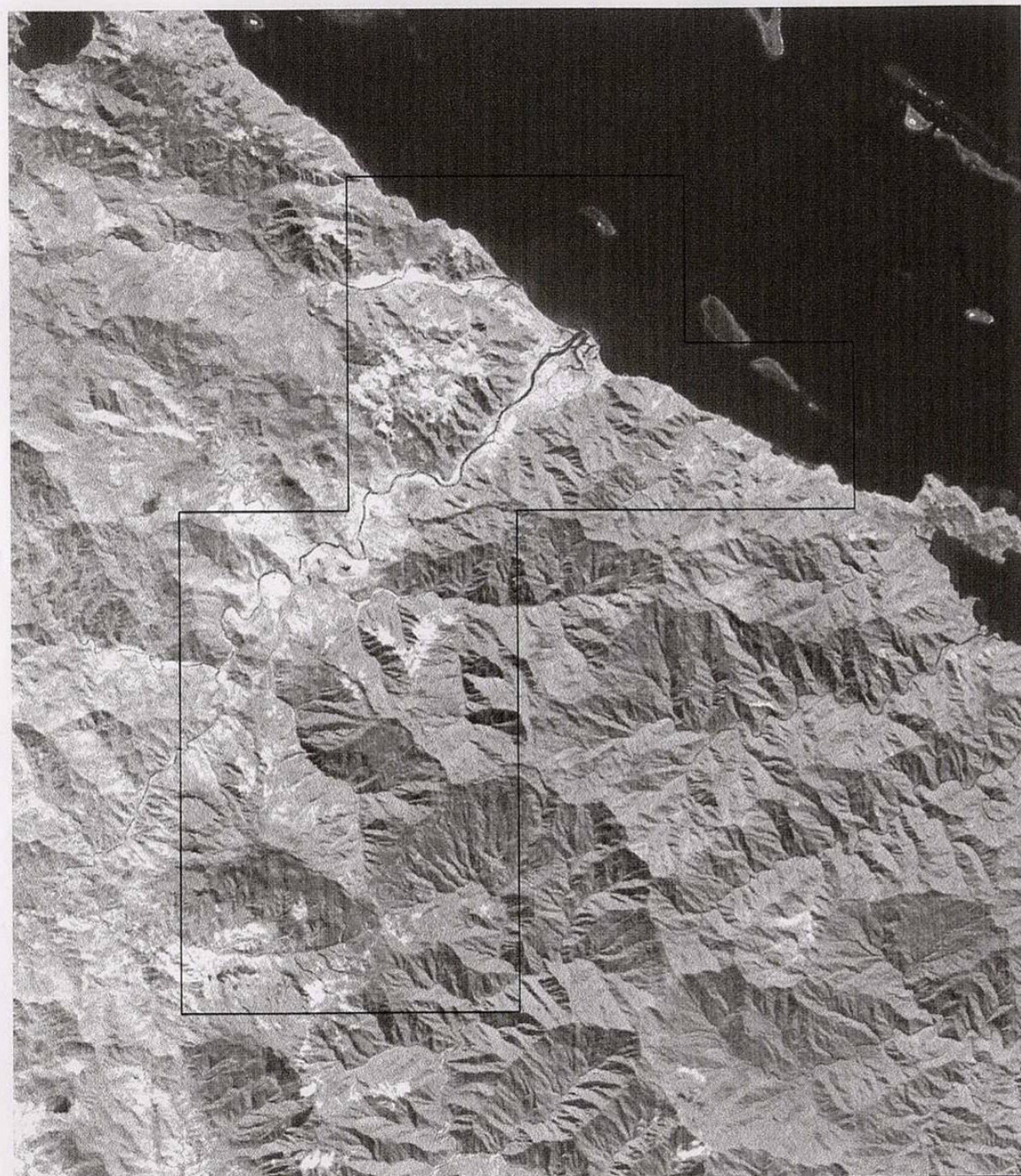
D'autres accidents de direction N. 40° ont été individualisés dans la nappe des péridotites lors des levés présents ou étaient déjà connus. Sur le plateau de Thio (Plan de synthèse géologique du plateau de Thio, communiqué par la SLN), les accidents N. 40° interviennent dans le contrôle et la distribution des amas minéralisés. L'inselberg du Bota Méré, avec sa direction aberrante, s'intègre bien dans ce contexte (cf. chapitre 4.1.2.1).

4.2.2 - Données satellitales

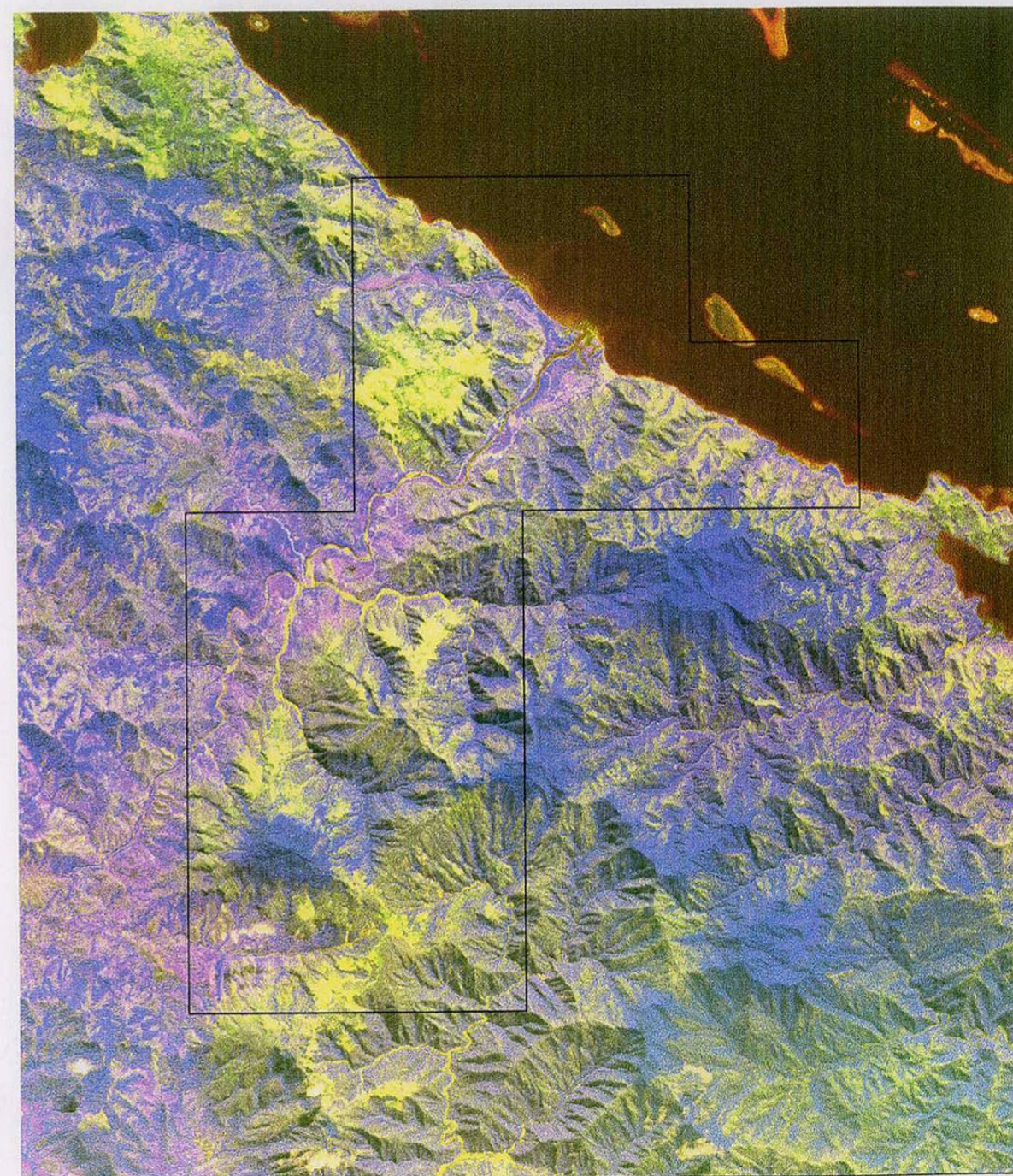
Des données traitées, dérivées des images SPOT, ont été fournies par le Service des Méthodes Administratives et de l'Informatiques. Avec une résolution de 20 m, ces images permettent de dégager les grands ensembles lithologiques et d'occupation du sol. Les traitements directement fournis (figure 5) permettent en outre d'individualiser les surfaces minérales à nu.

**Fig. 5 - Données satellitaires de la région du Plateau de Thio
(Image SPOT3 du 01/05/1995; KJ: 414-393)**

Index de brillance



Composition colorée



Echelle: 1/200 000

4.3 - CARTE INFORMATIVE DES PHENOMENES, TYPOLOGIE DES ALEAS

Les phénomènes recensés sont présentés en figure 6. Ils sont essentiellement concentrés dans les "massifs miniers".

Le démantèlement progressif des massifs de péridotite se fait par processus d'altération chimique, d'érosion mécanique et de transport torrentiel puis fluvial jusqu'au rivage. Les conditions de l'altération chimique ont déjà été examinées plus avant. Les processus de démantèlements mécaniques quant à eux, se font sous forme plus ou moins brutale, avec départ de produits de toute granulométrie. Les différents types de matériaux détritiques sont ensuite distribués par le réseau torrentiel et progressivement triés jusqu'à la côte. La nature de ces phénomènes, souvent violents et soudains, mettant en jeu des énergies importantes dues aux grandes dénivellations et à la grande quantité de matériaux impliquée, constituent l'essence même des aléas issus des "massifs miniers".

Ces aléas s'expriment sous différentes formes que nous nous proposons de passer en revue, de classer et de hiérarchiser. La classification suivante est fonction :

- 1 - du matériau affecté,
- 2 – de la nature du phénomène mis en jeu.

D'une manière générale, on distingue de l'amont vers l'aval :

- 1- des zones de départ, d'ablation,
- 2 - des zones plus ou moins étroites et linéaires de transit,
- 3 - des zones d'atterrissement ou de dépôts,
- 4 - des systèmes torrentiels.

Jusqu'à présent, dans les massifs de péridotites étudiés lors des différentes phases du programme, les types suivants ont été identifiés :

- chutes de blocs,
- lavakas,

- glissements,
- écroulements et écroulements en masse,
- coulées boueuses et coulées de débris,
- ravines,
- laves torrentielles,
- engravement et charriage torrentiel,
- débordements, divagations torrentielles

La plupart des ces phénomènes passent graduellement de l'un à l'autre. Ils sont aggravés par l'activité minière et il importe de bien distinguer ce qui revient au milieu naturel et ce qui doit être imputé à l'activité anthropique. C'est pourquoi la carte informative des phénomènes comporte la description des zones d'exploitation.

Les chutes de blocs

Les chutes de blocs sont un aléa omniprésent des zones rocheuses non latéritiques dans le "massif minier". L'état général de fracturation des roches est en effet tel qu'il n'y a pratiquement pas de zones où la roche ne soit pas découpée par un maillage dense, libérant des blocs de diverses tailles. C'est grâce à ces discontinuités qu'il est relativement aisé d'aménager des pistes pénétrant au cœur des massifs. En revanche la susceptibilité d'apparition de l'aléa chute de bloc est difficilement évaluable dans ce contexte. On peut considérer qu'il existe dans toutes les zones de "péridotites indifférenciées".

Les glissements

Ce phénomène qui affecte des matériaux de faible cohésion à différentes échelles, consiste en une rupture et à un déplacement d'une masse de terrain. On distingue une partie amont concave ou niche d'arrachement avec des crevasses satellites à l'amont, une partie intermédiaire où les phénomènes de transport prévalent avec des figures linéaires, et une partie aval convexe avec des bourrelets d'accumulation. La rupture se fait soit au sein d'un matériau homogène, il y a alors le plus souvent formation d'un glissement rotationnel avec niche d'arrachement circulaire, soit le long

d'un plan de faiblesse préexistant, éventuellement plan et de pendage conforme à la pente, on parle alors de glissement plan et de mouvement translationnel. Dans un stade précoce, des fissures circulaires apparaissent à l'aval, matérialisant la zone de détachement. Le déplacement total n'est jamais important, de l'ordre de 10 à quelques dizaines de mètres. Au-delà le paquet s'écroule et se déstructure.

Dans le "massif minier" ces mouvements en masse concernent des portions importantes (largeur = 50 m x longueur = 50 m x hauteur = 20 m minimum) de matériaux incluant le substrat rocheux, sa couverture latéritique éventuelle et souvent sa couverture végétale, voire les aménagements qu'il porte.

La gravité des conséquences induites par ces mouvements en masse est toujours importante, soit que les implantations humaines s'y soient directement placées, soit qu'elles soient exposées en contrebas. Elles sont à la mesure des volumes concernés qui sont au minimum de 50 000 m³. Les mouvements en masse qui traduisent une fragilité du terrain sur de grandes étendues, ne sont hélas jamais isolés. Ils sont généralement accompagnés par un cortège d'aléas qui paraissent secondaires en regard du phénomène principal (coulées boueuses, arrachements, écroulements, engravement à l'aval) et participent au déblaiement de la masse détachée. Il est la plupart du temps impossible de les maîtriser.

Dans la zone d'étude on relève plusieurs glissements tant du type rotationnel que translationnel, au niveau du creek Bel Air et du col du Camp des Sapins.

Les coulées boueuses et coulées de débris

Elles ont pour origine, le départ de portions de versant incluant couverture végétale, latérite et blocs de péridotites, de quelque m² à quelques

centaines de m², arrachées en fortes pentes. A l'aval, le matériau, complètement désolidarisé de son point d'origine s'étire linéairement (coulées) et est rapidement canalisé dans des ravines.

Selon la proportion de latérites par rapport aux matériaux rocheux, et la granulométrie de ces derniers on relèvera divers types à l'aval : coulées boueuses latéritiques, coulées de latérite à blocs, coulées de débris rocheux.

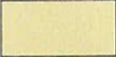


La zone de départ laisse une cicatrice ou niche d'arrachement ouverte dans le couvert végétal et éventuellement le manteau altéritique. Le terme "arrachement" est d'un emploi fréquent sur le Territoire, pour désigner ce type de désordre qui est un des aléas naturels les plus fréquents des massifs de péridotites. Il suffit de survoler ces massifs pour en apercevoir en grand nombre, souvent regroupés dans certains versants. Ces essaims de coulées sont vraisemblablement déclenchés par des excès de précipitations.

Lorsqu'il n'est pas volumineux, le matériau libéré s'arrête en contrebas surtout si la végétation est dense. Plus important, il va s'étaler sous forme d'une langue plus longue, souvent canalisée dans une gouttière, une ravine puis un torrent. Il n'est pas rare qu'il évolue en laves torrentielles.





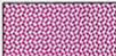

L'examen de quelques cas montre que la circulation interne de l'eau est fréquemment à l'origine de cet aléa. La mise en pression dans les péridotites fracturées lors des épisodes de fortes précipitations provoque le débouillage de certaines fissures, facilite le glissement de blocs supportés par des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

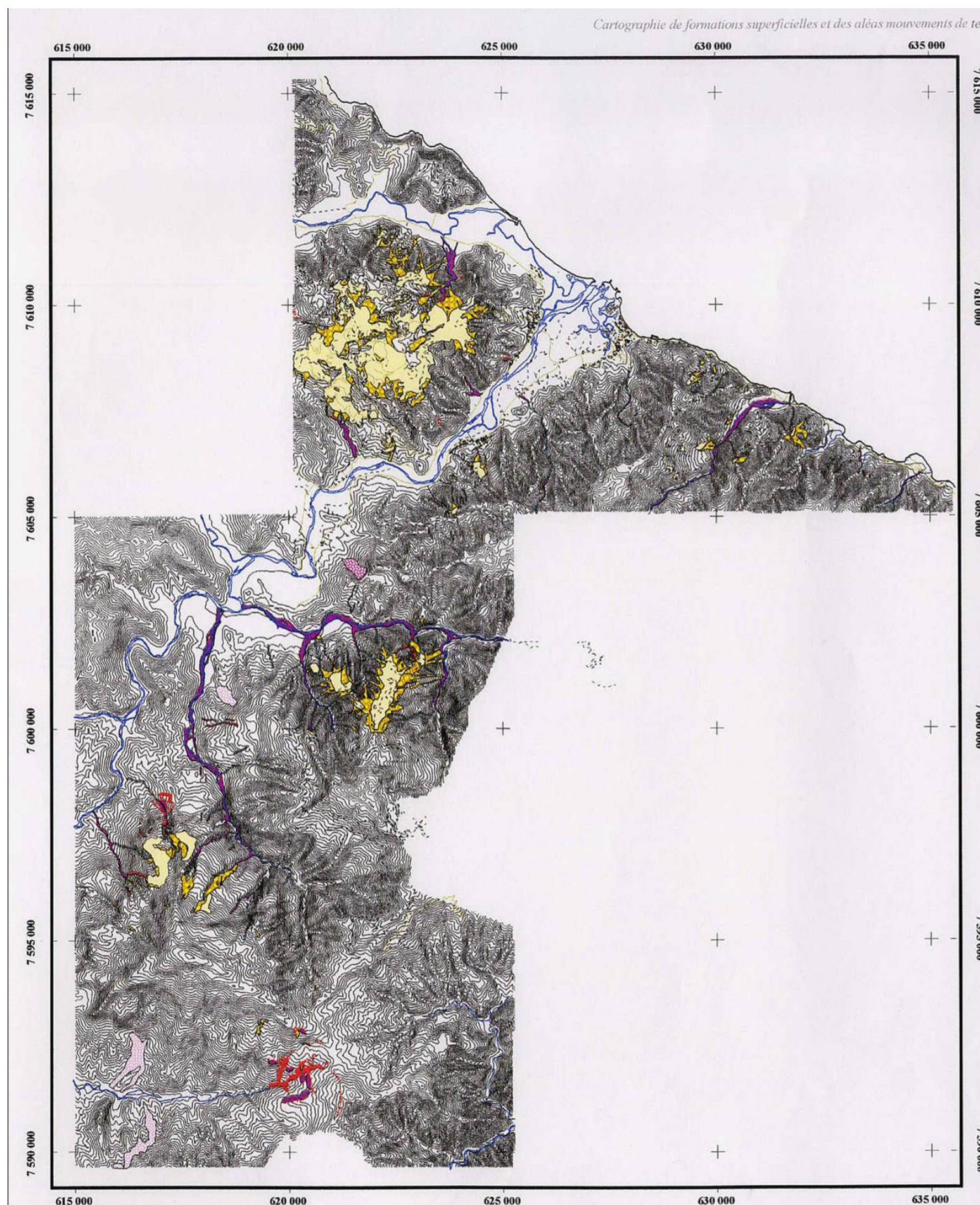
Fig. 6 - Carte informative des phénomènes

Zones d'exploitations minières

-  Zones d'exploitations
-  Décharges: matériel grossier
-  Décharges: matériel fin

Désordres

-  Ravines
-  Glissements de terrain
-  Niches d'arrachement
-  Anciennes coulées de débris: dominante latéritique
-  Anciennes coulées de débris: dominante péridotitique
-  Charriages torrentiel en rivière



Dans la zone d'étude des coulées anciennes de matériaux ont été trouvées, en quelque sorte fossilisées. Elles ont été recensées à titre d'exhaustivité.

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. On les trouve donc au droit de toutes les zones dénudées ou dégradées telles que les lavakas. 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, latéritique, le sapement des berges viendra grossir le flux détritique. Enfin, s'attaquant à des zones fragiles très saprolitiques ou serpentineuses, le phénomène s'accompagne d'une érosion intense du lit de la ravine, d'un approfondissement de l'incision et de multiples petits désordres sur les bordures qui provoquent son élargissement et le recul de la zone amont. On peut parler alors de ravinement actif à caractère régressif. C'est le cas des ravines du creek Jeanne et Marie et du creek Vincent.

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.

Laves torrentielles et embâcles

Les laves torrentielles se constituent dans le lit même torrentiel, lorsque celui-ci reçoit de l'eau en abondance, voire en excès, par arrachement,

ramonage, affouillement et incision du fond du lit, sapement des berges et des versants, si le matériau mobilisable est en quantité suffisante. Si les déplacements des glissements se mesurent en cm/jour, ceux des coulées et laves se mesurent en m/s. Il y a donc un saut quantitatif dans la dynamique du phénomène. La rhéologie est celle d'un fluide visqueux. Pour que le phénomène fonctionne, il nécessite une proportion importante de matériaux fins qui, fluidifiés, peuvent emballer des blocs "en suspension" de taille importante. Le milieu péridotitique altéré, avec ses blocs de roches ultrabasiques facilement mobilisables et sa réserve de particules fines fournie par les latérites, est éminemment favorable à la survenue de ce type de phénomène. Les distances franchies, y compris en zone de faible pente, sont considérables.

Lorsque la morphologie du cours d'eau, le volume et la nature des matériaux (y compris la végétation) permettent la constitution d'un barrage naturel et d'une retenue, il y a possibilité d'embâcle au moment de la rupture de cette digue temporaire. Une onde de crue peut se propager à l'aval. Le phénomène déclenchant est toujours une forte précipitation.

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

Dans la zone d'étude, des laves torrentielles ont été décrites dans le lit du creek Jeanne et Marie (Laganier, 1994).

Engrèvement, charriage, débordement, divagation torrentielle

Ces phénomènes sont liés au fonctionnement chronique des torrents. Ils se caractérisent par la mobilisation des sédiments pris dans l'environnement immédiat du cours d'eau. Celui-ci va chercher un surplus de charge solide aux limites de sa zone d'influence. La modification du profil longitudinal et transversal, le fauchage

des berges, la divagation du lit vif, la mise à nu des sédiments, l'engrèvement de tout ou partie du lit, sont les désordres classiquement encourus. La charge solide est arrachée aux berges, remobilisée à partir du fond du lit et abondée par l'érosion hydrique environnante. Ce phénomène se produit à l'évidence lorsque le milieu naturel a été considérablement dégradé et mis à nu.

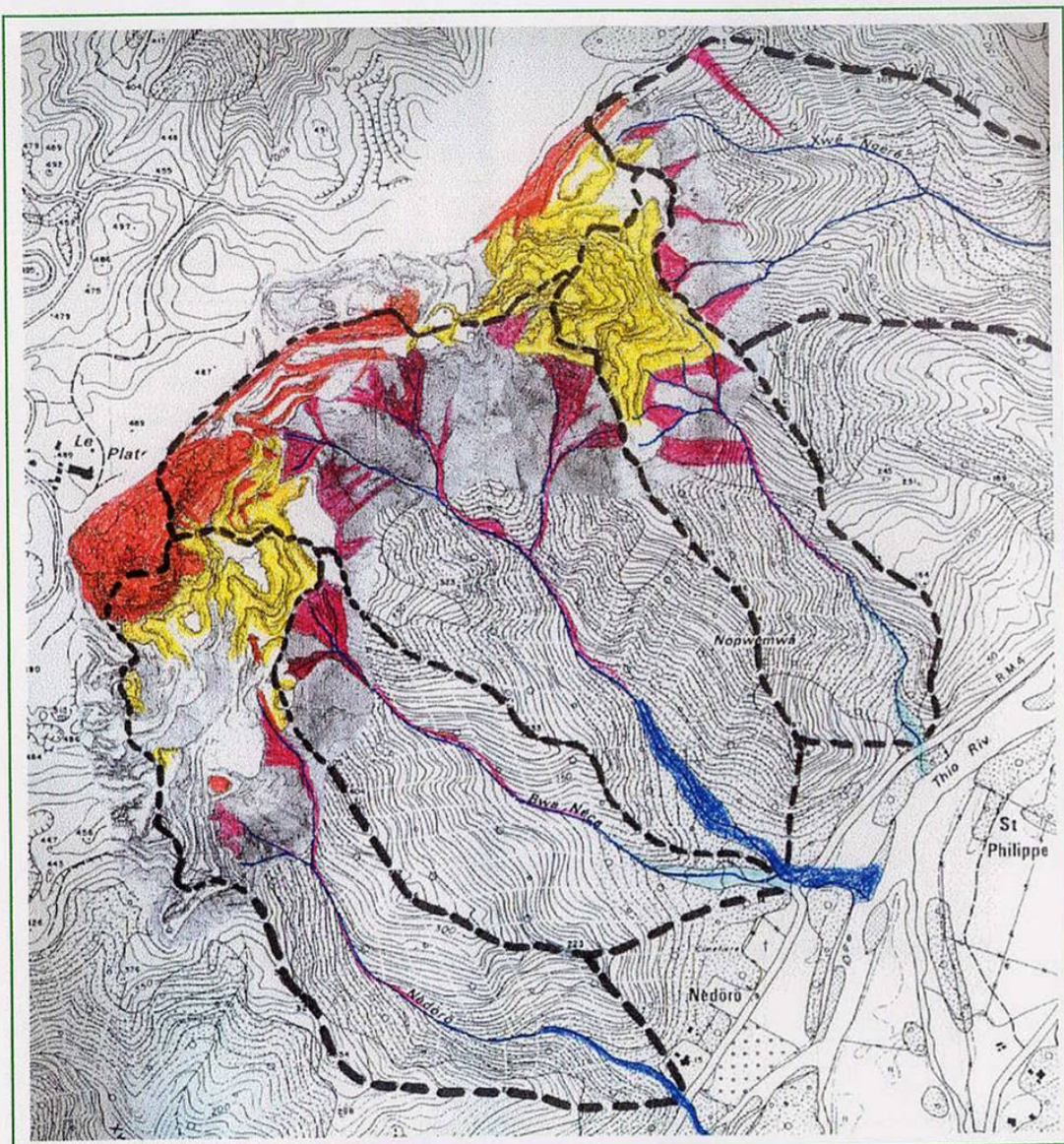
A l'instar des autres phénomènes décrits, le charriage se produit pendant les crises aiguës pluviométriques. Mais contrairement aux laves torrentielles qui sont des écoulements exceptionnels, le charriage est un mode d'écoulement plus permanent. Il fait parti du fonctionnement périodique du torrent.

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

Dans la zone d'étude, de nombreux torrents descendant des massifs de péridotite montrent des phénomènes de charriages importants. Il s'agit de creeks tels que la Kouangoué en rive gauche de la Thio ou de rivières plus importantes telles que la Nakalé ou la Nombrou en rive droite. Ces phénomènes sont en relation

évidente avec des zones d'anciennes exploitations minières. Ils ont été étudiés par Danloux et Laganier (IRD, 1991, 1994), par Perinet (SARH, 1989) et par Meunier (CEMAGREF, 1990).

Fig.7 - Carte des aléas et risques sur Thio plateau (d'après SIRAS Pacifique, 2001)



Cartes des Aléas

- Ravinements
- Chutes de Blocs
- Arrachements
- Laves torrentielles
- Charriages

Echelle : 1/10 000

Carte des Risques

- Très fort
- Fort
- Moyen
- Faible
- Nul

4.4 - CARTE DE SUSCEPTIBILITE DES ALEAS

4.1.1. Etude du SIRAS

Une étude de cartographie des aléas mouvements de terrain, a déjà été réalisée sur une petite partie du plateau de Thio (zone du Moulinet surplombant la vallée de la Thio) par le SIRAS (2001) dans le cadre du programme SYSMIN 7^{ème} FED, à l'occasion d'une étude de réhabilitation. Les principaux résultats de cette cartographie sont présentés en figure 7. Le document SIRAS fait suite à deux études menées en 1995 sur le plateau de Thio. La première (Cadioux, 1995) traitait de l'étude d'impact des exploitations minières sur l'environnement, après avoir dressé un état des lieux mettant en exergue les principales circulations d'eau et diverses dégradations telles que décharges et terrains naturels instables. La seconde étude (Donnadieu et Marion, 1995), complémentaire à la première, appréhendait les causes des phénomènes d'érosion sur le plateau de Thio, et concluait à la nécessité de réaménager le site.

La carte de risque au 1/12 500 a été obtenue par croisement des niveaux d'aléas (laves torrentielles et phénomènes de charriage, en particulier) et de vulnérabilité (personnes, infrastructures), faisant ressortir des problèmes d'engravement de la Thio et de détérioration de la RM4 située au pied de la mine. Le rapport, distingue deux secteurs de la mine soumis à une érosion préférentielle qui sont, le plateau, au niveau des latérites fortement ravinées, et ses bordures, au niveau des versants et de la rupture de pente. Du point de vue des aléas, l'étude recense les aléas tels que, ravinement, chute de blocs, arrachement, lave torrentielle et charriage.

Du point de vue des risques, cette cartographie fait ressortir un risque faible au niveau du village et un risque fort (laves torrentielles et charriage) sur plusieurs portions de la route RM4 située au pied de la mine.

4.4.2. Etude actuelle

Nous avons tenté de cartographier les aléas les plus caractéristiques sur les bases de l'analyse présentée dans les chapitre précédents.

L'apparition de mouvements de terrain est le résultat de la conjonction de plusieurs facteurs : **Des facteurs intrinsèques** ou **permanents** tels que composition du terrain, discontinuités (failles, filons, paléosurfaces ou interfaces, autres anisotropies structurales), **des facteurs aggravants** tels que la pente ou les interventions anthropiques (feux de brousse, aménagements), **des facteurs déclenchants** tels que séismes ou précipitations abondantes.

L'action de l'eau est au cœur de presque tous ces processus d'instabilité. L'altération (qui en est le résultat à long terme) est également une composante importante qui conditionne la tenue des terrains. La fracturation souvent corrélée avec l'altération entre également en jeu. Certains facteurs sont peu variables dans le temps (facteurs géologiques tels que la nature du terrain) alors que d'autres sont très évolutifs (teneur en eau).

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

La nature des phénomènes mis en jeu étant diverse, on a essayé de représenter les différents type possibles d'aléas (figure 8), par différentes symbologies. Cette carte de susceptibilité des aléas doit être prise comme **un document**

d'orientation indiquant les phénomènes susceptibles de se produire dans telle ou telle région avec un certain niveau et non pas comme un zonage précis.

La cartographie de susceptibilité d'apparition des phénomènes a été élaborée avec les quelques règles simples suivantes :

L'aléa mouvements de terrain réunit les glissements, coulées boueuses et coulées de débris. Il est représenté par un zonage surfacique. L'aléa coulée boueuse ou de débris est directement déduit de la pente. L'aléa glissement de terrain est directement déduit de la présence de zones serpentineuses à la base des massifs de péridotites.

On remarque que le niveau d'aléas dans le substrat volcano-sédimentaire et dans les massifs de péridotites ne sont pas comparables. Il est bien moindre dans le premier.

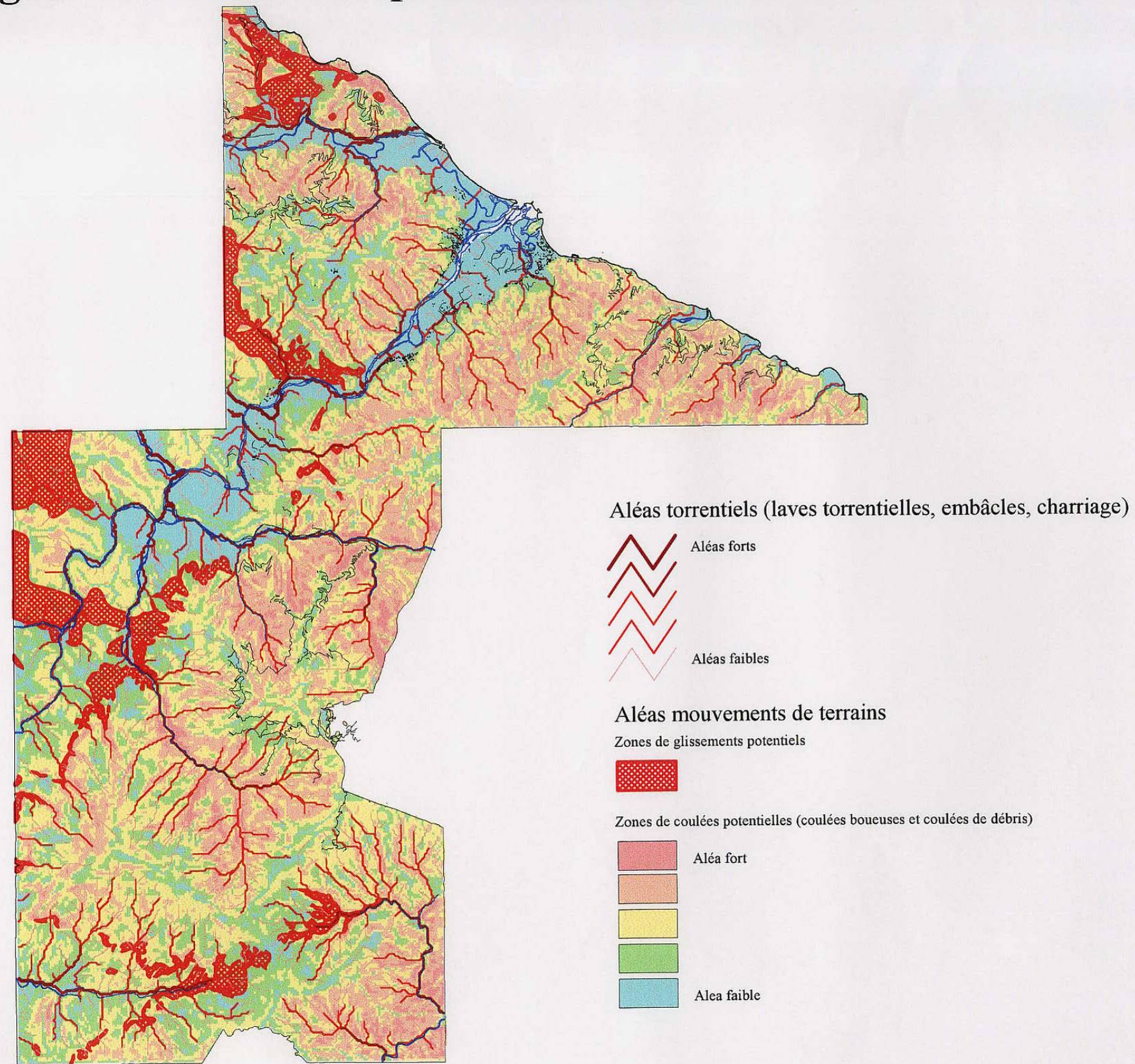
Concernant l'aléa coulée boueuse ou de débris, l'aléas faible correspond à des zones où la probabilité d'apparition du phénomène est faible à nulle. Ces zones correspondent pour la plupart à de faibles pentes en milieu de substrat volcano-sédimentaire ou en plaine. L'aléa fort correspond à des zones où la probabilité d'apparition du phénomène est forte. Ces zones correspondent uniquement au domaine des péridotites altérées à fortement altérées et à des pentes fortes.

Il est important de noter que ce zonage n'indique que les seules zones de départ des matériaux et ne prend pas en compte les zones d'atterrissement qui, comme on a pu le voir précédemment dans le cas des coulées boueuses, peuvent en être fort éloignées. En l'état des connaissances et avec les outils actuels, ces zones d'atterrissements ne peuvent être déduites.

Concernant les divers aléas liés au fonctionnement torrentiel (laves torrentielles, charriage, débordement) nous avons procédé à

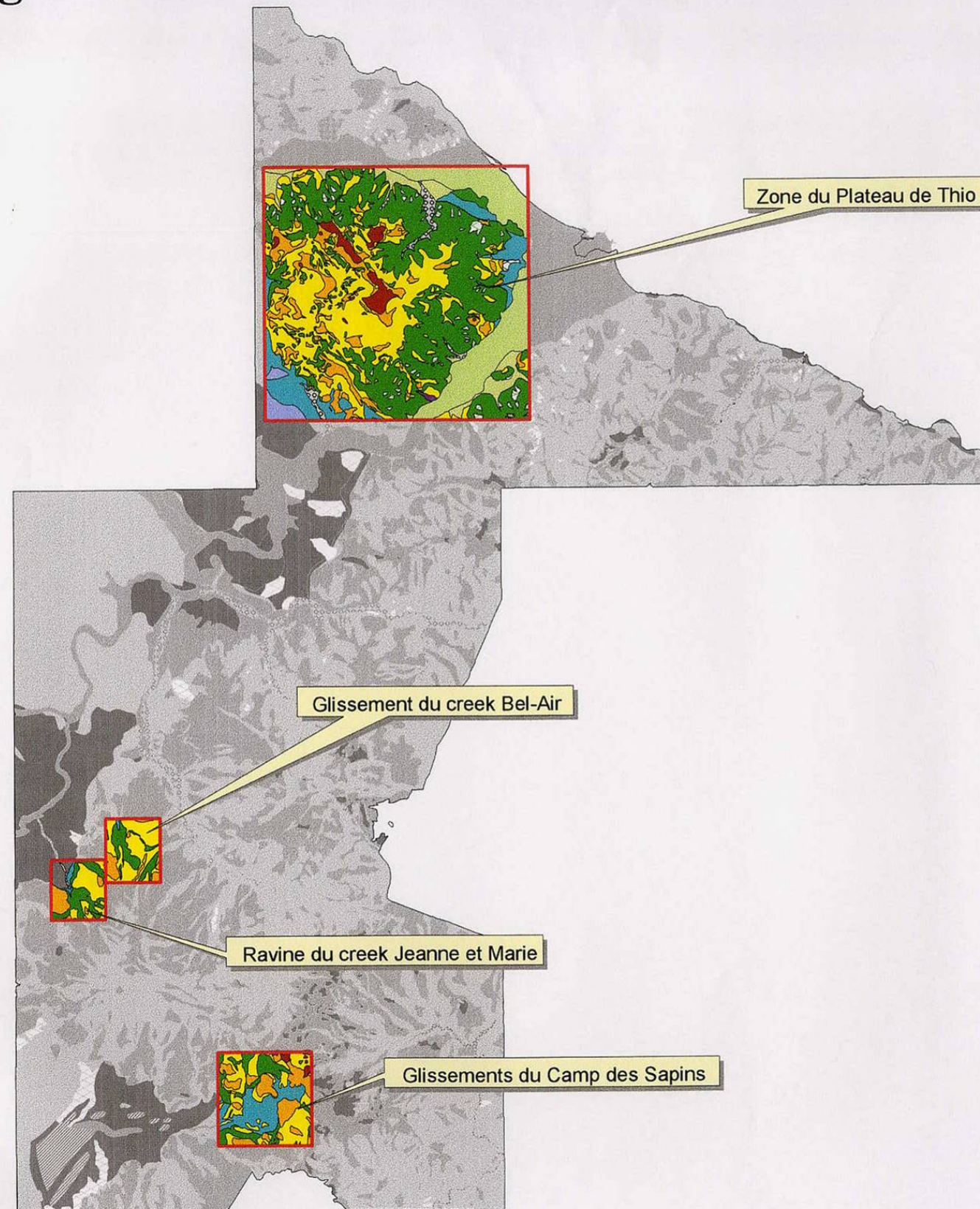
une hiérarchisation du réseau hydrographique (hiérarchisation de Strahler) puis surligné les creeks avec un trait dont l'épaisseur est proportionnelle au débit théorique. Rappelons à nouveau que ce type d'aléa n'est pas traité dans la présente étude. La symbologie utilisée est donc purement figurative.

Fig. 8 - Carte de susceptibilité des aléas mouvements de terrain



Rapport BRGM/R P 50845 - FR

Fig. 9 - Mise en évidence de zones sensibles



Rapport BRGM/R P 50845 - FR

5. - MISE EN EVIDENCE DE ZONES SENSIBLES

5.1 - Les ravines du creek Jeanne et Marie et du creek Vincent

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

Le torrent du creek Jeanne et Marie offre encore aujourd'hui une vision spectaculaire sur les phénomènes d'érosion et de dépôts dont il est ou a été le siège (figure 11). Ce secteur a fait l'objet de quelques notes (Perinet, SARH, 1989, Meunier, CEMAGREF, 1990) et de développements dans la thèse de Laganier (1994). Devant l'ampleur répétée des désordres induits au niveau du creek Jeanne et Marie (route coupée ou ensevelie, ponts détruits ou ennoyés), le phénomène a conduit à la construction d'un important ouvrage de franchissement d'une portée suffisamment longue pour être hors d'atteinte des impacts torrentiels (figure 12 et 14).

Description des désordres au niveau du creek Jeanne et Marie

Les désordres principaux sont localisés sur la partie nord du bassin versant et sur le cours aval du creek Jeanne et Marie (Xwé Méa sur la carte 1 / 50 000). Le phénomène prend naissance au niveau de l'ancienne Mine Bel Air à l'altitude 700 mètres. Une zone de ravinement très importante est ouverte au droit de l'ancienne

zone d'exploitation (figure 10 et 11). La tête amont de la ravine entaille directement un ancien niveau d'exploitation, qui s'y est en partie effondré ainsi qu'une ancienne piste. La ravine déverse à l'aval d'importantes quantités de matériaux qui, pour l'essentiel, viennent sédimenter au niveau du franchissement de la RP4 à la cote 130 mètres, soit 670 mètres en contrebas.

La ravine est ouverte dans des terrains peu

squelette rocheux en place sont peu nombreux. Quelques chicots de blocs disloqués serpentins dont l'autochtonie est discutable se rencontrent çà et là, mais il est difficile de dire s'il s'agit d'un niveau de saprolite en place. Un horizon continu de latérite rouge pisolitique supportant un maquis à fougères recouvre cet ensemble meuble. Il est généralement mince, moins d'un mètre (d'où la représentation cartographique de la zone en latérite mince), mais peut s'épaissir localement pour former des

dépôts de pente successifs. Il semble que l'on soit en présence d'une couverture de blocs de péridotites et de latérites remaniées, dans une dynamique de versant, contrôlée principalement par la gravité (éboulement de blocs grossiers, épandage de latérite). Ces blocs, déposés en limite d'équilibre, ont été temporairement cimentés par le processus d'altération. L'épaisseur de cette couverture est inconnue. La pente de ce versant dans les zones non incisées est très régulière. Elle est de 50% soit 1V pour 2H. Il importe ici de dire que cette formation de versant est d'origine naturelle.

Plusieurs petites ravines (figure 11 et 13) ou rigoles sont visibles à proximité de la ravine principale. Leur évolution pourrait être à terme dommageable.

Des portions d'une d'ancienne piste se sont effondrées dans l'entonnoir formé par la tête de la ravine principale et quelques fissures montrent que des panneaux sont encore susceptibles de glisser dans cette zone. Quelques chiffres permettent de mesurer l'ampleur de la ravine. L'entaille entre les cotes 400 et 700 mètres soit sur 300 mètres de dénivellation, atteint une profondeur de 10 à 30 mètres. Sa largeur est de 40 à 60 mètres. La pente longitudinale entre ces deux cotes est de 30°. Le phénomène de ravinement est actif, c'est à dire qu'à chaque épisode pluvieux, des matériaux sont arrachés à la zone d'incision et les bordures de la ravine reculent par érosion régressive, avec écroulement de paquets de matériaux latéritiques et rocheux.

A l'aval de la cote 400 mètres, le torrent sort des formations ultrabasiques (figure 13) pour traverser les formations volcano-sédimentaires indurées et résistantes du substrat. Ces dernières sont beaucoup moins affectées par l'action érosive du torrent. L'entaille du creek se referme alors. Dans cette zone et jusqu'à la RP4, la pente moyenne est bien moindre, de 10°, entrecoupée de cascades. Cette partie du cours d'eau est une zone de transit où les matériaux arrachés à la



Fig. 10 – La mine Bel Air vue d'hélicoptère (Dinger, Tachker, 1989)
La ravine qui alimente le creek Jeanne et Marie est celle qui est située la plus à droite

cohésifs. Ces flancs montrent la nature des terrains affectés par l'érosion intensive. On peut y voir, une accumulation de blocs hétérométriques de péridotites, emballés dans une matrice latéritique. Les pointements de

poches de quelques mètres de profondeur. Le long de la ravine, on est frappé par l'absence de substrat rocheux sain, en place, et de profil d'altération latéritique in situ. On note aussi l'absence de traces de stratifications résultant de

Fig. 11 – Ravines du creek Vincent et du creek Jeanne et Marie

Photographies B. Pelletier – SLN – 03/07/90



Ravine du creek Vincent



Ravine du creek Jeanne et Marie

ravine sus-jacente sont transportés et en majorité évacués vers les zones plus basses. Des zones d'accumulations ou de ravinements intermédiaires sont présentes mais sans communes mesures avec ce qui existe aux deux extrémités du système.

Puis le creek rejoint la vallée principale de la Kuenthio à l'altitude 70 mètres avec une pente de 6° (figure 14). C'est dans ce secteur, dans un segment qui débute 100 mètres à l'aval de la RP4 et descend jusqu'à la confluence avec la Kuenthio, que le torrent dépose sa charge solide et a détruit ou enseveli à plusieurs reprises les ouvrages existants.

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

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

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

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

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

Description des désordres au niveau du creek Vincent

Les désordres au niveau du creek Vincent sont à peu près identiques à ceux du creek Jeanne et Marie, dans leurs caractéristiques mais pas dans leur ampleur (figure 11). Une ravine est ouverte dans le même type de formation de pente (latérite et blocs de péridotite peu cohésifs) entre la cote 530 et 330 mètres. En outre la portion basse du talweg, dans le substrat volcano-sédimentaire,



Fig. 12 – Creek Jeanne et Marie, franchissement en 1989 (Dinger, Tachker, 1989)

est couverte par une zone de forêt épaisse où la plupart des décharges torrentielles viennent s'amortir, protégeant ainsi vers l'aval la RP4 et son franchissement.

Comme dans le cas du creek Jeanne et Marie, plusieurs petites ravines (figure 11 et 14) ou rigoles sont visibles à proximité de la ravine principale. Sur la figure 14, la ravine du creek Vincent et celle située immédiatement au NE (qui s'ouvre dans des formations serpentines blanches) semblent isoler un panneau dont la morphologie, convexe à l'amont, concave à l'aval, peut évoquer un paquet en cours de glissement.

Analyse rétrospective par photographies aériennes

L'interprétation des photographies aériennes permet d'apporter quelques éléments pour reconstituer l'évolution dans le temps du phénomène (figure 15). Six jeux de photographies aériennes ont été utilisés.

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

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

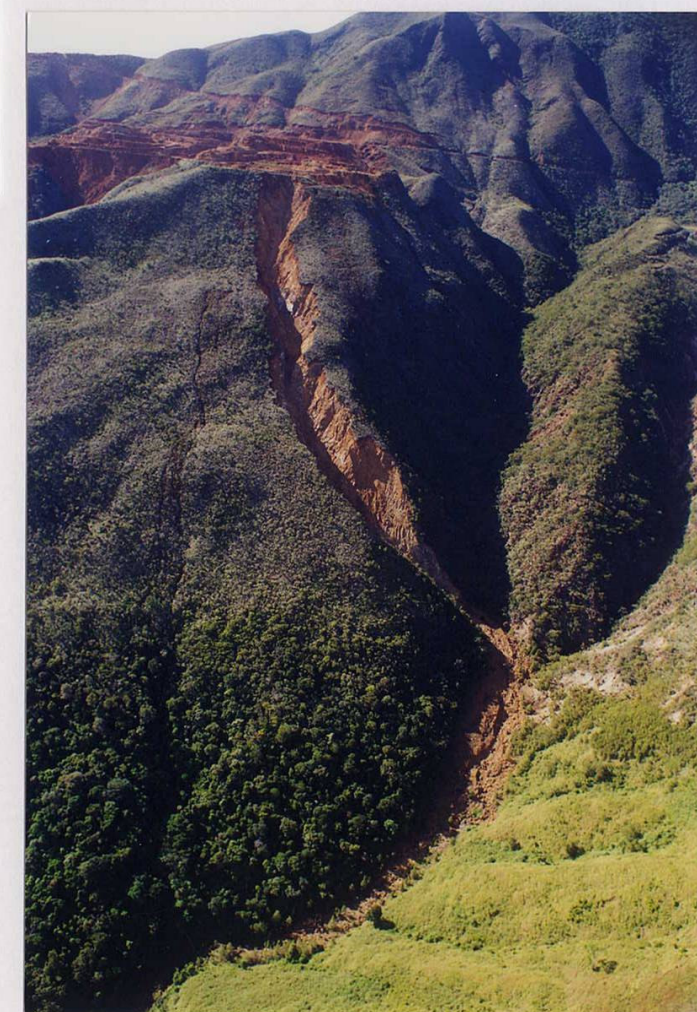
1971 : C'est l'époque du "Boom". L'emprise de la mine Bel Air a considérablement augmentée. Les décharges minières dans le versant également. C'est à ce stade que la ravine du creek Vincent semble se développer sur toute sa hauteur. D'autres incisions de moindre importance se développent à l'aval de

Cartographie des formations superficielles et des aléas naturels, zone de Thio – Nouvelle-Calédonie

Fig. 13 – Ravine du creek Jeanne et Marie



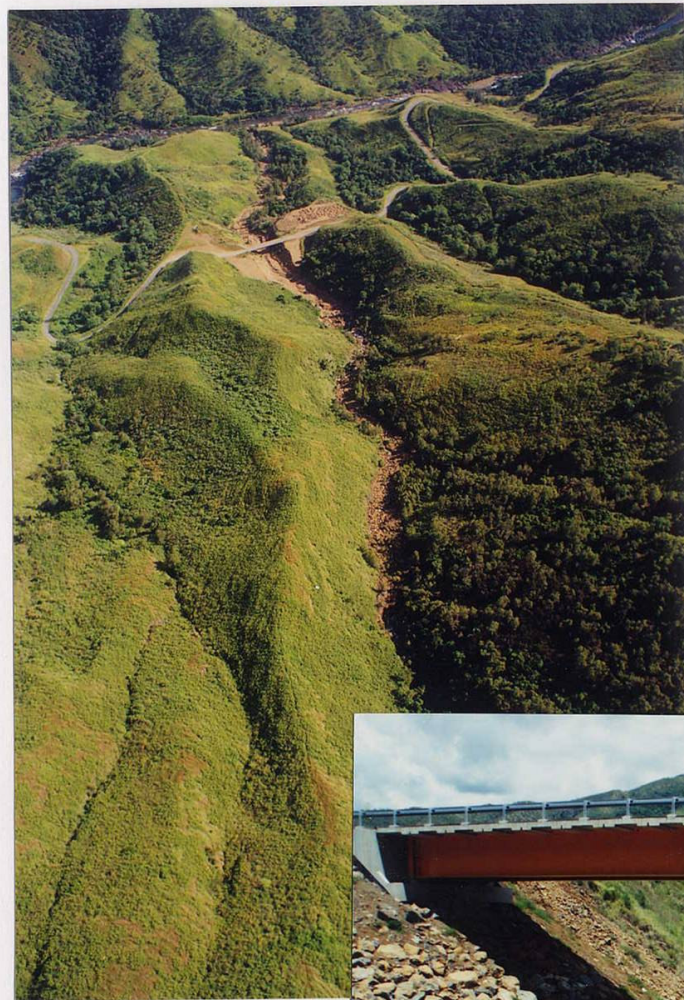
Zone de la niche d'arrachement



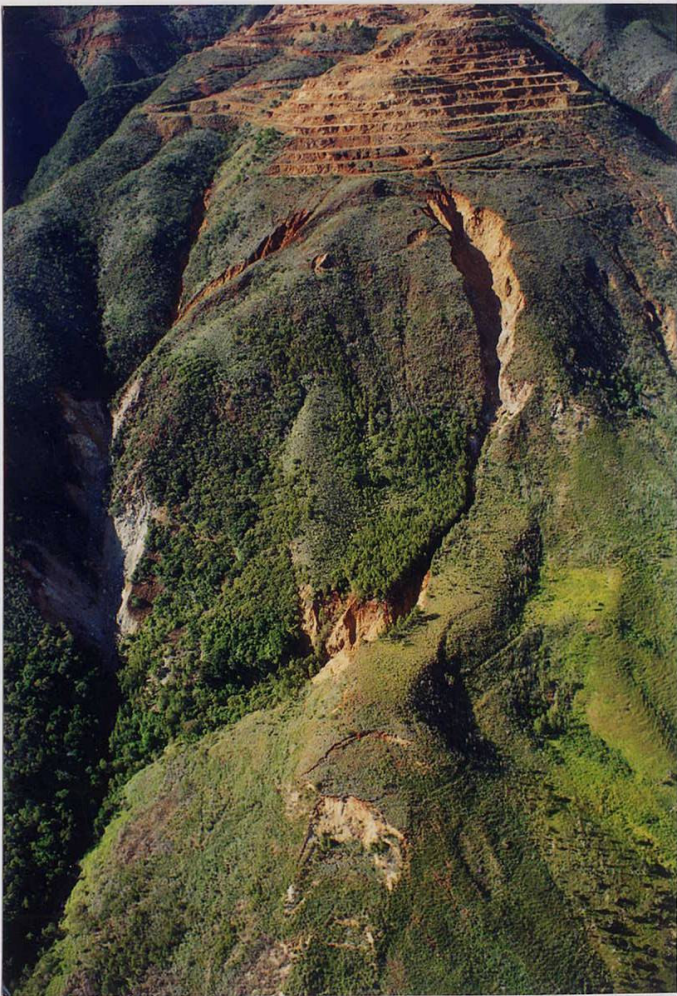
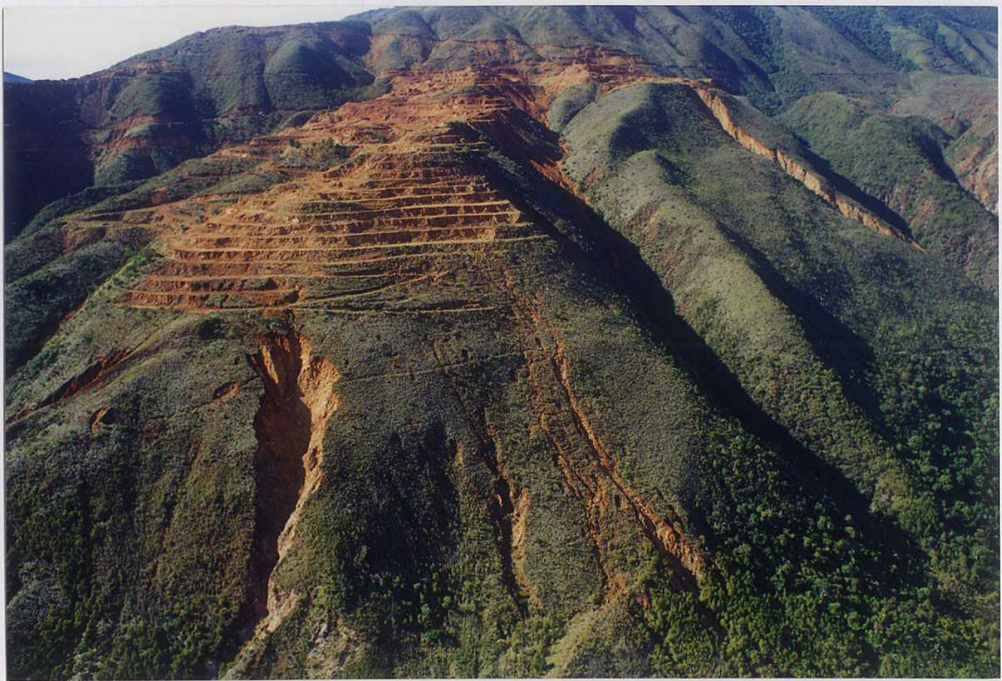
Vue d'hélicoptère
(photographie B. Pelletier – SLN – 17/04/2001)

Cartographie des formations superficielles et des aléas naturels, zone de Thio – Nouvelle-Calédonie

Fig. 14 – Ravine du creek Jeanne et Marie et du creek Vincent

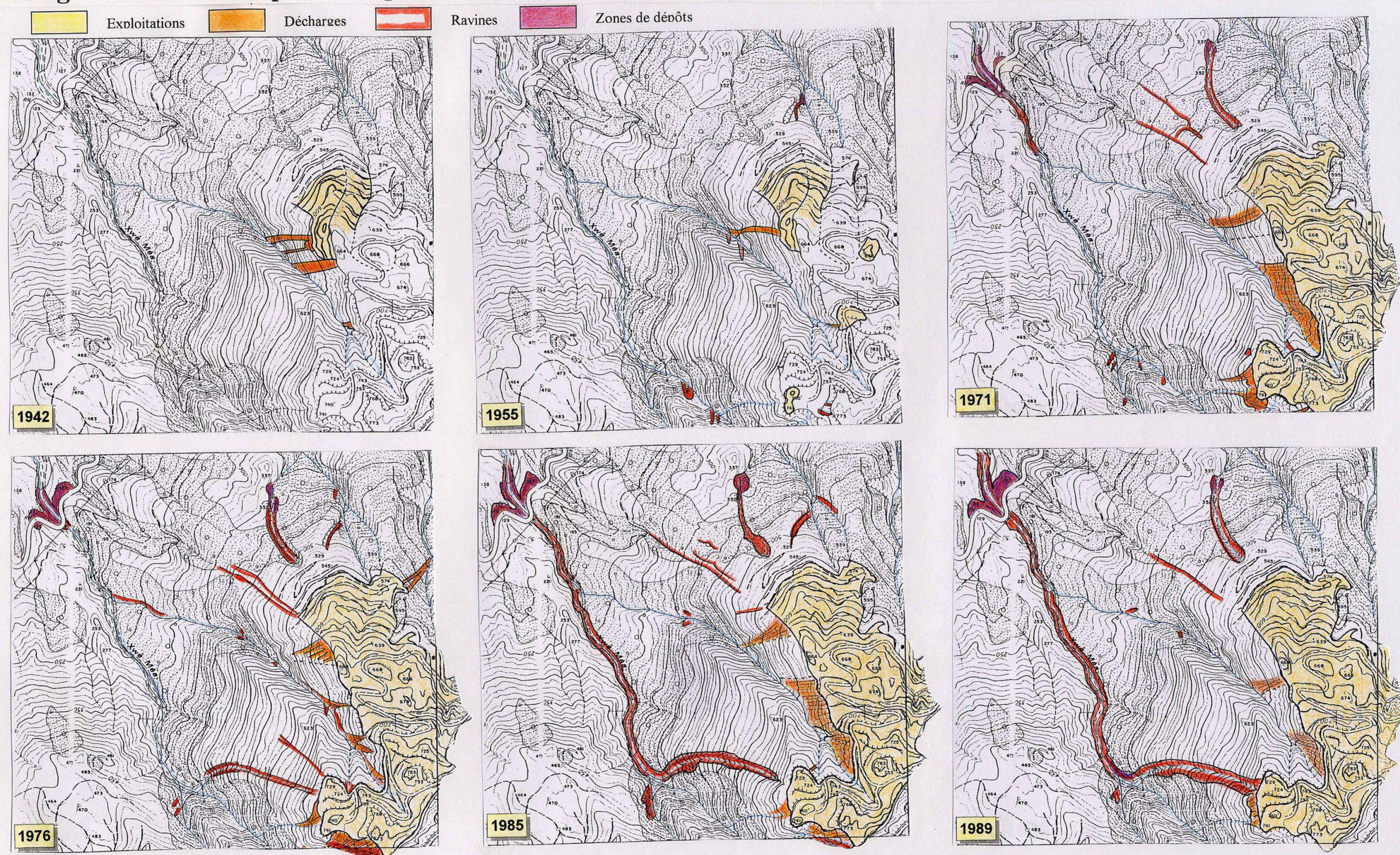


Vues sur l'ouvrage de franchissement de la RP4



Vues sur le creek Vincent
(photographie B. Pelletier – SLN
– 17/04/2001)

Fig. 15 – Evolution spatio-temporelle des ravines du creek Jeanne et Marie et du creek Vincent (1 / 10 000)



Rapport BRGM/R P 50845- FR

l'exploitation. Une zone de dépôt est nettement visible à l'aval du creek Jeanne et Marie, au niveau de la RP4. Il est probable qu'elle correspond à une zone d'atterrissement de lave torrentielle. Cependant son origine n'est pas décelable. La ravine du creek Jeanne et Marie n'existe cependant toujours pas, bien qu'une petite entaille soit discernable à son futur emplacement, sous le niveau situé à la cote 729 mètres.

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

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

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

Conclusions

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

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

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

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

Recommandations

Les mesures de protection ont consisté à l'amont à couper les alimentations possibles en eau de ruissellement par une série de merlons, à l'aval à enjambrer le creek par un franchissement de longue portée laissant le chemin libre aux coulées de débris et dont le dimensionnement assure le débit des transits torrentiels liquides et solides. La première mesure est active et tend à réduire le phénomène même de ravinement qui fournit les matériaux indésirables vers l'aval. La

deuxième mesure est une défense passive qui a pour objectif de minimiser les coûts occasionnés par les travaux de déblaiement et de réfection au niveau de la RP4. Elle a été choisie comme le meilleur compromis permettant de minimiser les coûts de déblaiement face à la pérennisation du trafic. D'autres solutions telles qu'un nouveau tracé de la route en rive gauche de la Kuenthio, la réalisation d'un radier renforcé, le déplacement de l'ancien pont en amont, voire même un tunnel-galerie, avaient été envisagées (Meunier 1990).

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

5.2 – Le glissement du creek Bel-Air

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

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

Description des désordres

Le glissement a lieu dans la semelle serpentineuse située à la base du massif de péridotites, dans une zone où celle-ci s'épaissit. Une série de sources est visible à ce niveau dans le lit du creek, en particulier en rive droite, à la base de la zone de glissement la plus importante. Le matériau serpentineux est friable, sans cohésion, instable. Il est parcouru par un ensemble de plans de clivages sinueux. Ce matériau fragile, sujet au fluage, presque ductile, est recouvert en surface par une accumulation de blocs de péridotites et de latérites remaniées dans la pente, supportant un profil d'altération. Les matériaux serpentineux dominent à l'aval. Vers l'amont, on passe progressivement à une zone de péridotites rocheuses plus cohérentes, la vallée devenant plus encaissée et les versants plus pentus. Alors qu'à l'aval, les glissements rotationnels dominent (figure 16), à l'amont les

glissements translationnels, les écroulements et des paquets glissés prévalent (figure 17).

À l'aval (figure 16), la masse glissée se décompose en plusieurs gradins qui s'échelonnent de part et d'autre du creek. Les niches d'arrachement sont pour la plupart de forme semi-circulaire, s'emboîtant les unes dans les autres. Les mouvements rotationnels des différentes loupes de glissement sont attestés par des contre-pentes et la présence d'arbres inclinés vers l'amont. Les fronts des différentes masses glissées se dégradent en petits gradins et présentent des coulées de matériaux boueux ou rocheux limitées. Ces produits de désagrégation sont évacués par les crues et remaniés dans toute la partie aval du creek jusqu'à sa confluence avec la Kuenthio.

L'ensemble glissé se développe sur près d'un kilomètre. Sa largeur maximale de part et d'autre du creek est de 400 mètres. Les décalages verticaux de certains gradins peuvent atteindre 10 mètres de hauteur. La masse glissée a été évaluée à un million de m³ par F. Perinet (1989). Son point le plus bas est situé à 800 mètres de distance et à 120 mètres d'altitude au-dessus de la RP4.

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

Analyse rétrospective par photographies aériennes

L'étude rétrospective par photographie aérienne (figure 18) apporte quelques précisions quant à l'évolution des différents pans glissés.

1942 : non disponible.

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

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

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

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

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

Conclusions

Le glissement de terrain du creek Bel-Air est volumétriquement l'un des plus importants que l'on connaisse. Son contexte géologique nous est familier. Il est en effet fréquent de trouver des glissements de ce type au niveau de la semelle serpentineuse formant la base de la nappe de péridotite, lorsque celle-ci s'épaissit. Le peu de cohésion du matériau serpentineux allié à l'émergence de sources dans ces zones basales et étanches de la nappe des péridotites, entraînent souvent ce type d'instabilité. Ces glissements sont rotationnels dans les serpentines altérées ductiles et translationnels dans les péridotites serpentinisées.

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

La superficie du bassin versant du creek Bel-Air est estimée à 1,4 km². Sa partie la plus amont comporte les anciennes zones décapées de la mine Bel-Air et des décharges sauvages dans les versants. La route d'accès au Camp des Sapins traverse cette zone dans laquelle des aménagements ont été pratiqués pour minimiser les dégâts dus au ruissellement. Actuellement le torrent ne montre pas d'engravement ni de phénomène de charriage important.

Le phénomène de glissement décrit plus haut, même s'il est imposant, ne présente pas en lui-même un danger important. Il ne supporte pas d'infrastructure vitale et se trouve à bonne distance de la RP4. En outre la lenteur d'évolution (de l'ordre de quelques cm à dm par an en période normale) de ce type de mouvements de terrain permet de prévenir les dangers éventuels.

Par ailleurs, il n'y a pas de solution confortative pour ce type d'instabilité de grande ampleur. F. Perinet soulignait déjà en 1989 que "les moyens physiques de stabiliser des mouvements de terrain d'une telle ampleur n'existent pas". Ceci est d'autant plus vrai que le glissement est localisé au sein même d'un talweg qui alimente sa partie basale en eau et qui sape son front, favorisant sa réactivation de manière incessante.

L'aléa qui est le plus à redouter dans un tel contexte est un phénomène d'embâcle. Dans un tel scénario, lors de précipitations importantes, la vitesse d'évolution du phénomène se trouverait grandement accélérée, passant de quelques cm/an à quelques cm/jour. Dans un tel scénario, un compartiment glissé pourrait venir obstruer le cours du creek, provoquant une

Fig. 16 – Glissement du creek Bel-Air

Photographie B. Pelletier – SLN – 17/04/2001



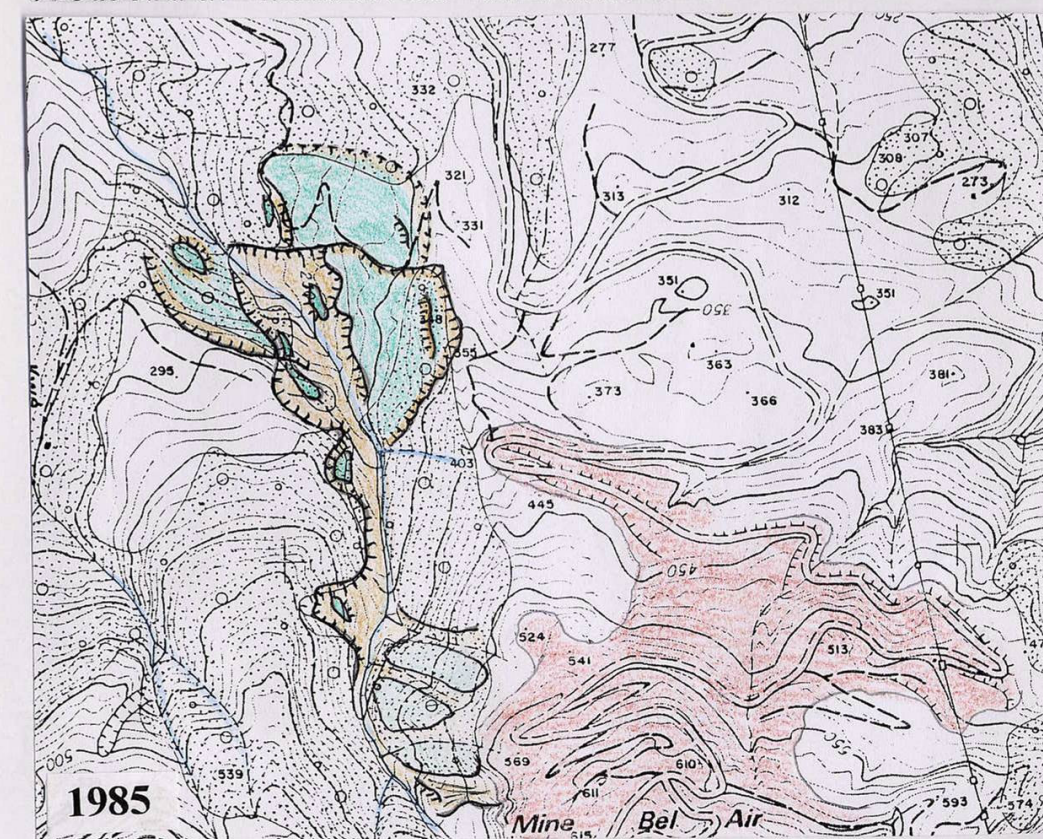
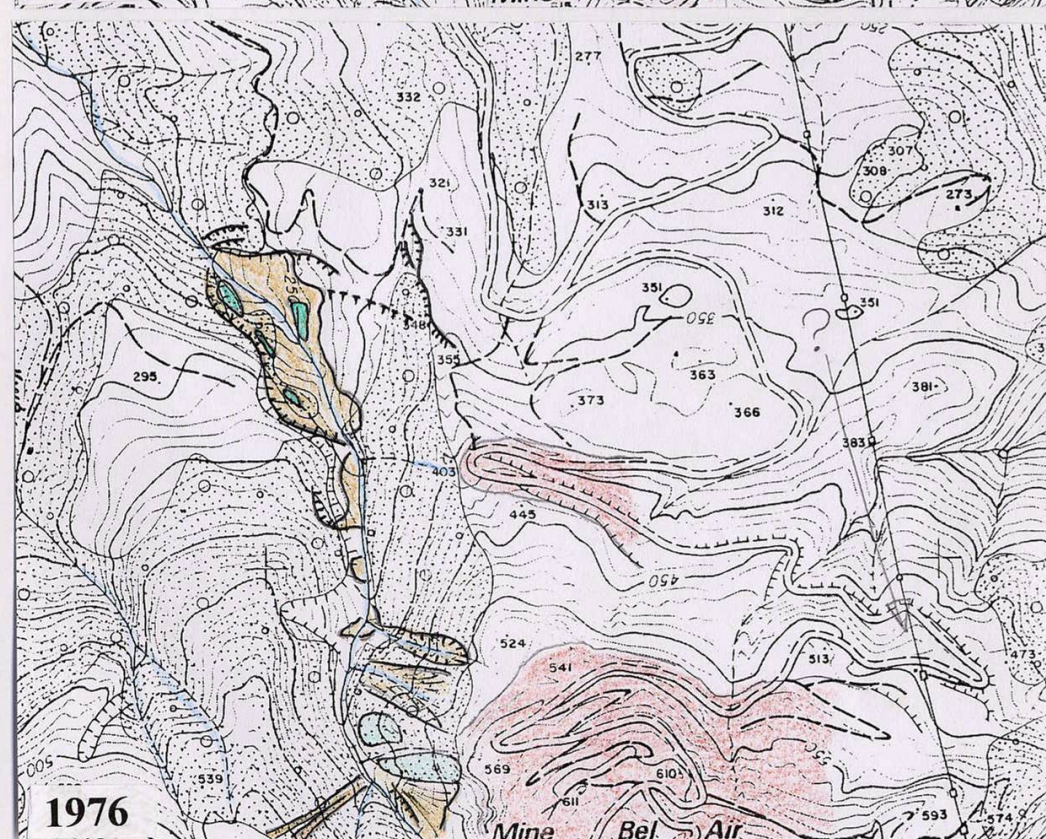
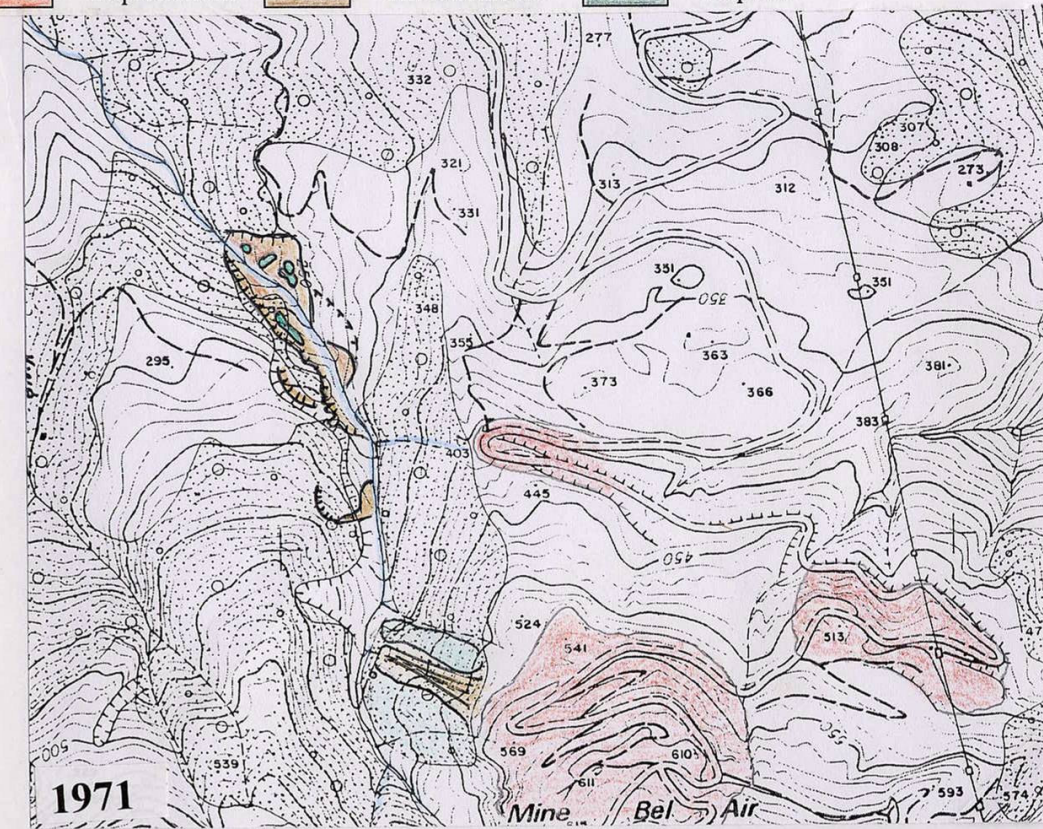
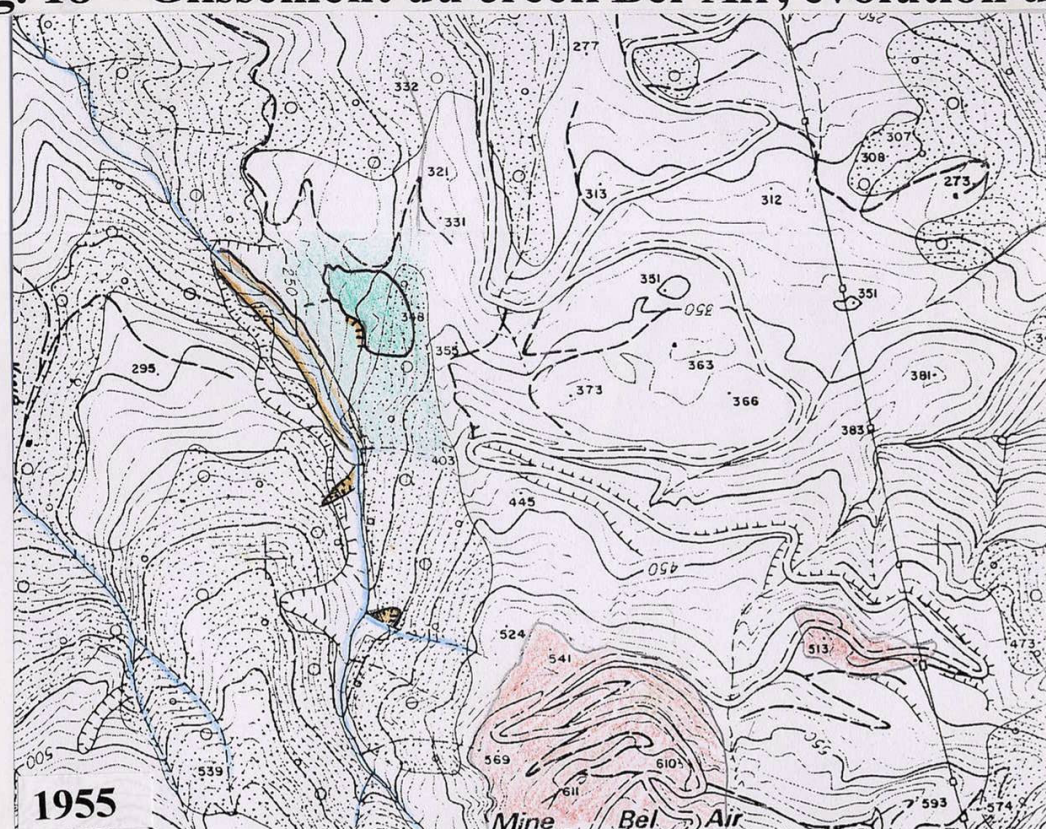
Cartographie des formations superficielles et des aléas mouvements de terrain, zone de Thio – Nouvelle-Calédonie

Fig. 17 – Glissement du creek Bel-Air : panoramique



Fig. 18 – Glissement du creek Bel-Air, évolution dans le temps :

Exploitations Arrachements Replats



retenue et une accumulation d'eau et de matériaux à l'arrière. Ces matériaux pourraient être empruntés aux anciennes décharges minières situées à l'amont du bassin versant ou plus simplement à toutes les zones instables présentes, naturelles ou artificielles du bassin

versant et comporteraient une grande quantité de fines issues du ruissellement dans les zones latéritiques. La rupture de ce barrage temporaire pourrait libérer alors sous forme de lave torrentielle une énergie potentielle considérable et destructrice. Il est probable que dans une telle

éventualité, l'ouvrage de franchissement au niveau de la RP4 serait ruiné.

Le glissement en lui-même n'étant pas maîtrisable, il est recommandé pour minimiser l'apport de matériaux en provenance de la partie

amont du bassin versant, voire éviter des accusations mal fondées envers les zones d'exploitations minières, de maintenir, surveiller et renforcer les dispositifs de gestion des eaux pluviales au niveau de la mine Bel-Air et au passage de la piste du Camp des Sapins.

5.3 – Les glissements du Camp des Sapins

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

Description des désordres :

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

Les deux principaux glissements se développent sur le flanc SW du col, en tête de la vallée de la Koua. Ils se signalent par toute une hiérarchie emboîtée de cicatrices semi-circulaires (figure 20 et 21) correspondant à des niches d'arrachement plus ou moins récentes et délimitant des zones affaissées en gradins. Cet ensemble sensible à l'érosion est en outre parcouru par un réseau de ravines actives sur les

flancs desquelles des instabilités secondaires (éboulements, coulées de matériaux divers) prennent place.

L'unité glissée la plus importante (glissement 1) est localisée sur le flanc sud, en rive gauche de la Koua (figure 19, 20 et 21). Elle s'inscrit dans une forme circulaire de 500 mètres de rayon soulignée par un affaissement d'une dizaine de mètres de dénivellation. C'est typiquement un glissement de type rotationnel.

Une zone de glissement beaucoup plus spectaculaire est située à un kilomètre au NW des ateliers, entre deux niveaux de la piste principale d'accès, entre les cotes 960 et 800 mètres (glissement 2, figure 20). A la différence du précédent, ce glissement de terrain intéresse une zone de péridotite altérée et très fissurée et non pas un matériau serpentineux. Il s'agit dans ce cas d'un glissement de type translationnel. La zone affaissée qui mesure 200 mètres de large et autant en hauteur est délimitée à l'amont par une niche d'arrachement qui laisse affleurer un profil d'altération latéritique se superposant à un amas sans cohérence, de blocs de péridotite. En contrebas, le paquet effondré présente une morphologie convexe. Sur sa bordure ouest, la

zone glissée s'appuie sur un éperon plus résistant au niveau duquel s'est ouvert un arrachement et qui a généré une coulée de débris rocheux.

Etude rétrospective par photographies aériennes
L'examen des photographies aériennes de ce secteur montre que dès 1942 (figure 20), les principales zones d'instabilités étaient existantes, en l'absence de tout aménagement humain. Les installations actuelles, plates-formes, zones d'extractions et pistes ne sont donc pas en cause dans le déclenchement des phénomènes. On ne constate pas non plus d'aggravation des mouvements résultant de travaux et pas d'évolution significative des zones de désordres, du moins perceptibles sur les documents photographiques aériens postérieurs (figure 21).

Conclusions :

Si ces désordres n'ont pas évolué depuis 1942, cela ne signifie pas qu'ils ne puissent pas être réactivés, soit à l'occasion d'importantes précipitations accompagnant un cyclone, soit par l'ouverture inconsidérée de travaux dans les zones les plus fragiles. Les risques encourus dans ce secteur concernent des atteintes aux infrastructures minières existantes (pistes principalement) et à la rivière Koua.

La piste d'accès au Camp des Sapins est directement menacée par le glissement 2, situé entre les cotes 960 et 800 mètres, aussi bien à l'amont par recul de la niche d'arrachement, qu'à l'aval par des coulées de matériaux. L'ampleur de la masse glissée au regard de la modicité des enjeux exposés exclue cependant d'envisager de quelconques travaux de confortement sur la zone instable. Cela étant, il est élémentaire de recommander une surveillance du site et d'éviter tout aménagement qui serait de nature à modifier l'équilibre actuel : gestion des eaux de ruissellement adaptée, éviter de toucher aux pieds de la zone instable.

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

Cartographie des formations superficielles et des aléas mouvements de terrain, zone de Thio – Nouvelle-Calédonie

Fig. 19 – Glissements du Camp des Sapins



Glissement 2



Glissement 1



Rapport BRGM/R P 50845- FR

Fig. 20 – Glissements du Camp des Sapins : Etat des désordres en 1942 (1 / 10 000)

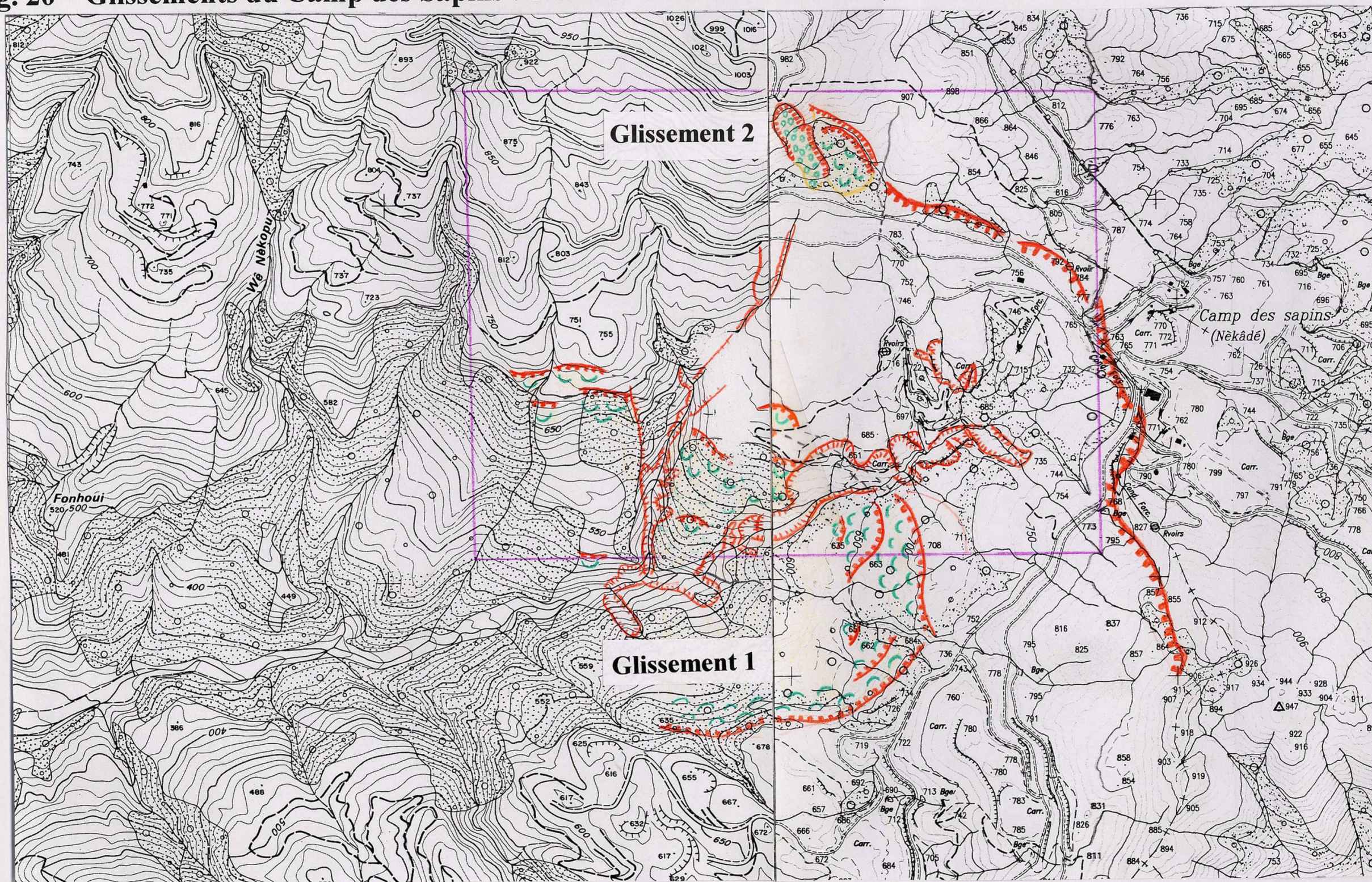
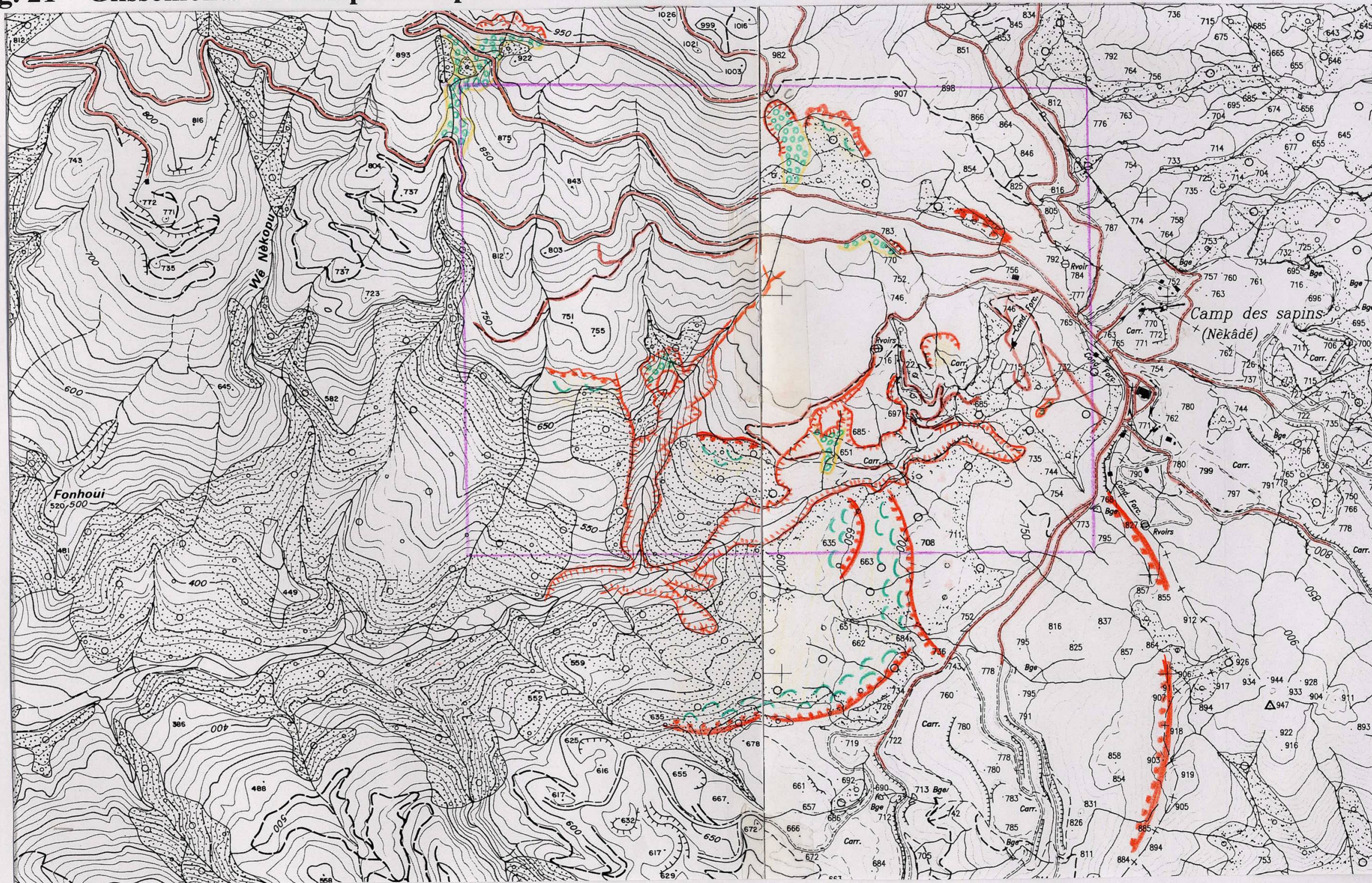


Fig. 21 – Glissements du Camp des Sapins : Etat des désordres en 2000 (1 / 10 000)



5.4 – Etude de la zone du plateau de Thio

La zone du plateau de Thio est l'une des plus anciennement exploitée dans le Territoire (environ depuis 1875, soit 125 ans). Il nous a paru intéressant d'essayer de retracer l'évolution des zones de travaux, à travers l'interprétation de différents jeux de photographies aériennes.

Cinq couvertures photographiques disponibles ont été utilisées :

- **1942** : photographies de l'armée américaine à 1 / 20 000, obliques en noir et blanc.
- **1954** : photographies IGN à 1 / 40 000 en noir et blanc.
- **1971** : photographies SLN à 1 / 15 000 en couleur.
- **1976** : photographies IGN à 1 / 20 000 en noir et blanc.
- **1989** : photographies SLN à 1 / 8 000 en couleur.

Quelques remarques peuvent être formulées pour fixer les limites d'un tel exercice. Les échelles données sont celles du tirage sur papier. Le pas de temps procuré par ces documents est

assez disparate puisqu'il varie de 5 à 17 ans. Il n'y a pas de documents sur la période 1875 – 1942, soit pendant 67 ans. La période du "boom" du nickel qui a duré de 67 à 75 est cependant assez bien couverte. Nous n'avons pas eu de document pour cartographier l'état présent 2000 – 2001. L'échantillonnage dans le temps est donc très ponctuel. La qualité des documents est également diverse. S'il est donc possible de mettre en évidence les changements les plus flagrants, il n'est en revanche guère réaliste de vouloir mesurer précisément l'évolution des

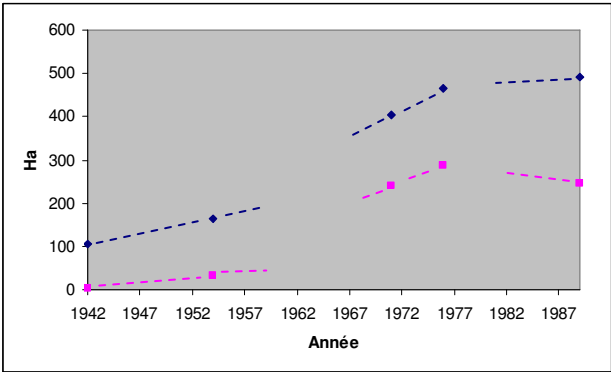


Figure 22 – Evolution comparative des surfaces d'exploitations et de décharges sur le plateau de Thio

surfaces exploitées. Tout au plus pourra-t-on mettre en évidence les grandes tendances.

Deux types de surface ont pu être cartographiés : les zones d'exploitations, les décharges dans les versants et leurs épandages dans les creeks. Les surfaces de décharges contrôlées et stabilisées ne sont pas prise en compte. Les surfaces calculées sont projetées dans le plan XY et ne tiennent pas compte de la pente.

Les résultats sont présentés dans les deux tableaux ci-dessous.

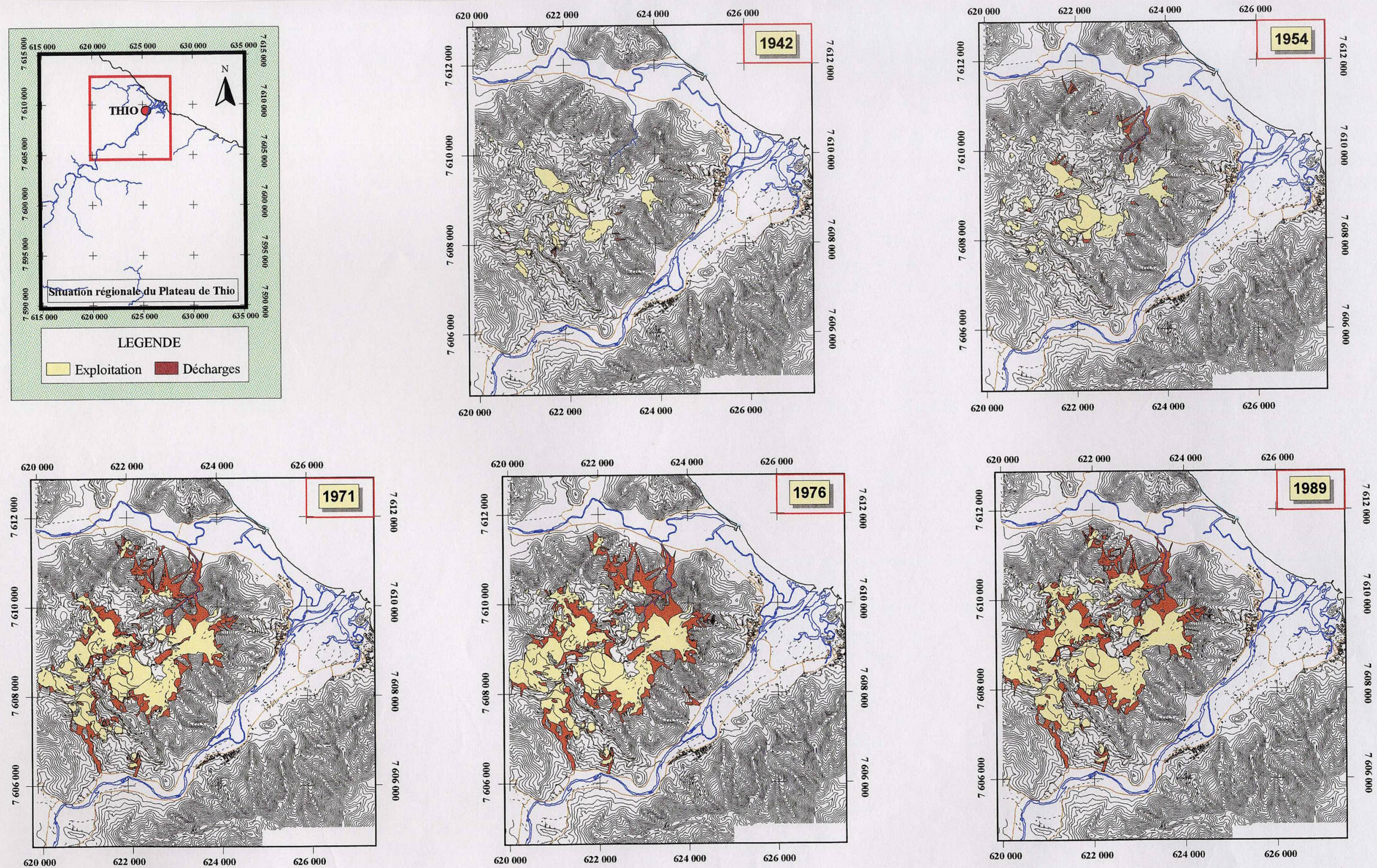
Année	Exploitations (Ha)	Décharges (Ha)
1942	105	3
1954	163	33
1971	404	241
1976	464	288
1989	493	247

Tableau 1 – Evolution des surfaces d'exploitations et de décharges sur le plateau de Thio
Ces chiffres appellent quelques commentaires. La qualité du document de 1942 (photographie oblique très éloignée) ne permet pas d'avoir une

grande précision et une bonne distinction entre zones d'exploitations et décharges. La photographie de 1954 montre le peu d'étendue des décharges dans les versants à cette époque, à l'exception de la zone de la cascade Wellington déjà fortement engravée. Le document de 1971 montre clairement le saut quantitatif qui a accompagné l'époque du "Boom". La surface exploitée est multipliée par un facteur de 2,5, alors que les surfaces de décharges dans les versants et les creeks est multipliée par un facteur de 7,3. La photographie de 1976 confirme la progression de cette tendance. La photographie de 1989 montre la stabilisation des différents types de surfaces. Par ailleurs à partir de cette époque, sont édifiées des décharges stabilisées et revégétalisées dont la superficie en toute logique devrait venir en déduction de la surface totale.

Le total des surfaces, exploitations et décharges, en 1989, qui atteint 740 ha doit être comparé aux 1600 ha allégués dans le mémoire de L. Improta (1991).

Fig. 23 – Evolution des surfaces d'exploitation sur le Plateau de Thio



5.5 – L'aléa torrentiel

L'aléa "inondation torrentielle" dans la partie basse des vallées, n'est pas pris en compte dans cette étude. 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 ADAVAR).

Des études concernant le risque spécifique torrentiel ont cependant été faites dans la vallée de la Thio, et il nous a semblé profitable de synthétiser les connaissances acquises dans ce domaine, tout en en faisant un examen critique, afin de rassembler dans un même document tous les éléments nécessaires à l'éventuelle perspective d'une prise en compte globale des risques naturels dans ce secteur. Ces travaux sont dus essentiellement au CEMAGREF (Meunier, 1990), et ont été menés à l'initiative de l'ADAVAR (anciennement DER, Perinet, 1989), dans les années qui ont suivi le cyclone Anne (1988). Des études contributives de l'IRD (Danloux et Laganier, 1991, 1994) ont complété ces investigations. Le problème de l'interférence avec les anciens travaux miniers y est franchement abordé.

Dans la zone d'étude, de nombreux torrents descendant des massifs de péridotite montrent des phénomènes de charriages importants. Il s'agit de creeks tels que la Kouangoué en rive gauche de la Thio, sous le plateau de Thio ou de rivières plus importantes telles que la Nakalé ou la Nebürü en rive droite. Ces phénomènes sont souvent en relation directe avec des zones d'anciennes exploitations minières.

Kouangoué : Des crues torrentielles ont coupé plusieurs fois par le passé la route (RM4) qui mène depuis le village de Thio à la tribu de Saint-Paul. L'engravement et les importants phénomènes de charriage de ce torrent, sont directement liés à la présence des anciens travaux du plateau de Thio qui se trouvent en rive gauche du creek. Le bassin versant

représente une superficie de 3,6 km² dont 1,5 km² draine l'exploitation du plateau, en rive gauche (piste principale d'accès et de roulage). La pente du torrent varie de 20 % à l'amont à 8 % vers l'aval. Les volumes mobilisables, selon Perinet et Meunier, étaient en 1990 d'au moins 10⁶ m³. Postérieurement à 1976, de nombreux efforts ont été faits pour gérer l'action des écoulements dans tout le secteur. Demeurent cependant de nombreuses zones de décharge des années du "boom" en domaine de forte pente et le lit même du creek qui depuis cette période s'est transformé en une énorme plage de dépôts dans laquelle les écoulements charrient leur transport solide au gré des déplacements du lit mineur qui oscille en tresse d'un bord à l'autre de la vallée. Au débouché de la Kouangoué dans le lit de la Kuenthio, s'est formé un banc de gravier et galets en rive gauche qui est étalé par la rivière principale et se propage vers l'aval.

Fait important, qui n'a pas été signalé par Perinet et Meunier, mais que la présente étude permet de noter : le bassin versant est presque entièrement contenu dans la semelle serpentineuse de la nappe des péridotites, ici relativement épaisse. Ce type de substrat est désormais connu pour être particulièrement fragile, sensible à l'érosion et aux incisions des ravines. Nous avons relevé au cours des différentes campagnes du programme de cartographie des aléas mouvements de terrain (Maurizot et Lafoy, 1998, 1999, 2000) de nombreux exemples où l'épaississement de la semelle serpentineuse à la base des massifs de péridotites induit de multiples désordres (ravines du Païdi à Pouembout, Col de Boutana dans le massif du Kopéto, flanc NE du Koniambo, mine des Barbouilleurs à Dumbéa, glissement du Mont-Dore). Il est très difficile dans un tel contexte de contenir les désordres causés par l'érosion et en particulier l'action du ravinement qui y est souvent irréversible.

Dans le cas de la Kouangoué, plusieurs ravines profondes sont installées en rive gauche du creek. Même en limitant autant que faire ce peu

le ruissellement dans toute cette zone par les dispositifs habituels (merlons, décanteurs, barrages filtrants), il est clair qu'à chaque épisode de fortes précipitations, la part non maîtrisable et irréductible du ruissellement de surface entraînera inéluctablement des matériaux vers l'aval. Le diagnostic d'évolution est donc

pessimiste. Cependant, selon Meunier, "la pente du creek Kouangoué est faible et le lit est suffisamment large pour que les crues torrentielles s'étalent (laves torrentielles y compris). Si celles-ci sont possibles, elles devraient être limitées". Les aléas concernés sont donc bien le charriage et le débordement

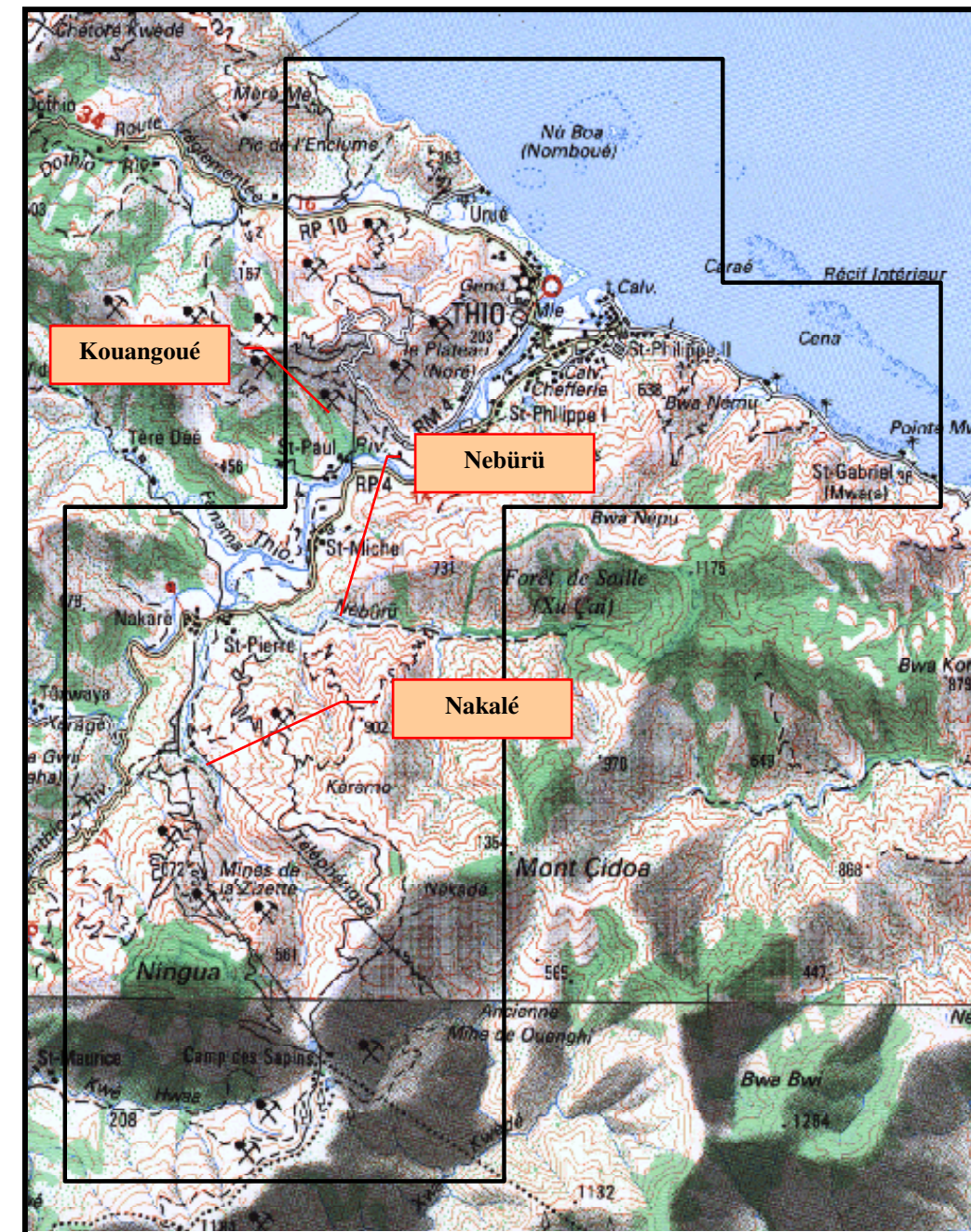


Fig. 24 – Situation des torrents étudiés par le CEMAGREF

torrentiels et le risque encouru concerne l'obstruction ou la destruction de la RM4.

La solution de confortement choisie à l'époque a été, afin d'assurer la permanence de la circulation routière, de réaliser un nouvel accès à la tribu de Saint-Paul par une autre voie qui soit indépendante du creek Kouangoué, c'est à dire un pont en amont sur la Thio qui a été réalisé au niveau des Pétroglyphes. Cet ouvrage a permis également de désenclaver la vallée de la Fanama. Cette solution a été préférée à un ouvrage de rétention et de stockage de la charge solide de la Kouangoué et à des seuils submersibles dont la pérennité paraissait plus aléatoire. Un tel barrage aurait du avoir une capacité de rétention de 187 000 m³ de matériaux (Meunier, 1990) ce qui est très important. Outre ces aménagements, un reprofilage du lit du creek est régulièrement pratiqué. A posteriori, on peu dire que la solution choisie à l'époque a été judicieuse, bien que le diagnostic ait été posé sans tenir compte du contexte géologique.

Nakalé : La rivière Nakalé est une des plus touchée dans la vallée de la Thio par le charriage torrentiel. Le tronçon affecté par le phénomène s'étale sur plus de 5 km de distance, à l'amont de la confluence avec la Thio. Par endroit la largeur affectée, atteint près de 300 mètres. Le charriage et l'engravement torrentiel prennent naissance en rive gauche de la rivière, au droit de l'ancienne mine Zizette et de la mine Bel-Air dont les anciennes décharges alimentent abondamment leur aval. Il n'y a par contre que peu d'apports en provenance de la rive droite d'où les exploitations sont absentes. La surface du bassin versant est de 27 km².

La Nakalé n'est pas a proprement parlé un torrent mais plutôt une rivière torrentielle avec des tronçons relativement plats où le lit mineur serpente au grès des saisons, formant des dépôts en tresses, séparés par des zones de verrous et de rapides. Sa pente moyenne est faible, de l'ordre de 3 à 5 %.

Les études de Meunier (1990) ont montré que la rivière est largement capable de véhiculer tous les apports de versants jusqu'au pont de la RP4. Ceci est corroboré par le fait qu'aucun creek en provenance des zones dégradées par les anciennes exploitations minières n'a pu construire un cône de déjection. Ils ont tous été enlevés par la rivière principale. Meunier estime qu'un équilibre dynamique s'est établi au niveau du lit de la Nakalé et que les déblais miniers sont transportés après quelques séquences de dépôts et de reprises au gré des crues selon des processus complexes qui sont plus proches de l'hydraulique fluviale que de l'hydraulique torrentielle.

A l'heure actuelle les mesures correctrices utilisées consistent, dans la partie basse du creek, à reformer le lit mineur de la rivière en repoussant les alluvions sur les berges. Cette mesure permet de recentrer l'écoulement et d'augmenter le drainage du creek. Selon G. Garry (1998), il semble que ces travaux de terrassement présentent des inconvénients. Ils provoqueraient une déstructuration de la partie superficielle des sédiments qui tendent à former naturellement avec le temps une carapace protectrice, et ils entraîneraient une élimination de la végétation pionnière.

Il ne peut y avoir de laves torrentielles dans un tel contexte. Seuls les creeks situés à l'amont et sur les versants du bassin pourraient être le siège de tels phénomènes. Au-delà dans le lit principal, c'est le charriage torrentiel qui prend le pas. Le seul risque encouru peut concerner la divagation du torrent et le sapement de ses berges dans la partie basse de la vallée entraînant des dégâts sur les ouvrages ou habitations trop proches du lit.

Nebürü : La Nebürü draine un bassin versant important de 47 km², dont la partie amont contient la réserve de la forêt de Saille. Au niveau de l'ancienne mine Bornet dans la partie basse de la vallée, la rivière reçoit d'abondants déblais miniers. Les phénomènes d'engravement et de charriage y sont largement aussi importants que dans la Nakalé. Toutefois, la masse

principale charriée, qui s'étire sur 4 km, n'atteint pas le pont de la RP4. Il s'agit là aussi d'une rivière torrentielle à la pente faible plutôt que d'un torrent.

A l'instar de la Nakalé, il ne peut y avoir de laves torrentielles dans un tel contexte et les seuls risques encourus concernent les phénomènes associés au charriage tels que divagation torrentielle et sapement des berges.

D'une manière générale, selon G. Garry (1998), les travaux relativement lourds (terrassements pour favoriser les écoulements axiaux et réalisation de seuils en enrochement) mis en œuvre pour maîtriser les charriages spectaculaires dans les principaux torrents, affluents de la Kuentio, concernés par l'exploitation minière, présentent l'inconvénient d'éliminer la végétation, de déstructurer la partie superficielle de pavage de gros blocs en fond de vallée, d'exposer les matériaux plus fins à l'érosion et dans certains cas de provoquer la formation de méandres à effet très érosifs. Selon cet auteur une solution alternative consisterait à favoriser l'épandage et le piégeage des matériaux par des seuils rudimentaires.

5.6 – L'aléa inondation

Il a semblé intéressant d'intégrer dans ce travail, au titre de l'exhaustivité, le résumé des résultats d'études concernant le risque d'inondation, bien que ce thème ne soit pas pris en charge par le présent programme. On a souvent désigné l'exhaussement du lit de la Thio et le comblement de son embouchure par les sédiments en provenance des anciennes exploitations minières, comme facteur aggravant le niveau d'inondation. Les études existantes sont contradictoires et nous donnons ici les éléments de réflexion que nous apportent les documents disponibles.

On rapporte que la SLN se servait autrefois de chalands dans la partie basse de la rivière pour évacuer le minerai (in Meunier, 1990), ce qui ne serait plus possible aujourd'hui. Meunier signale également que des plages de sédiments grossiers continuent de modifier le cours de la Thio, avec déplacement de bancs, du lit, et affouillements des berges. Cependant cet auteur admet que l'ampleur de la zone inondable dépend vraisemblablement au premier chef du débit de la crue, du niveau de la mer et du débouché à la mer. M. Allenbach (1999) a pu analyser l'évolution morphologique du delta de la Thio sur une période allant de 1954 à 1996 (photographies aériennes de 1954, 1971, 1976, 1982, 1985, 1989, 1995, 1996). Globalement l'analyse de ces documents permet de reconnaître "une importante accrétion sédimentaire de formations récentes" au niveau de l'embouchure, qui se traduit notamment par une progradation vers le Nord" et une progression des zones couvertes par les sédiments en rive droite au niveau du Bota-Méré. Danloux et Laganier (1991) notent également entre 1954 et 1989, un "ensablement

de la rive droite du delta jusqu'au pointement du Botaméré".

D'après G. Garry (1998), la comparaison des photographies aériennes prises à différentes périodes montre que le lit mineur et les nombreux bras annexes de la Thio sont extrêmement stables dans le temps. Il en va de même des zones d'atterrissements. Les érosions de berges sont limitées et n'incitent pas à craindre une mobilité excessive de la rivière pour l'avenir. Toujours selon Garry, "il ne semble pas que le transit sédimentaire des éléments grossiers soit important dans le cas de la Thio. Les éléments sont en effet peu apparents, dans la partie aval de la vallée... La même interrogation subsiste quant au transit des matériaux provenant des torrents alimentés par les extractions minières. Ces matériaux qui forment par exemple un cône de déjection à l'aval du Xwé Tomuré (Kouangoué), ne se retrouvent apparemment pas à l'aval. Leur charriage est d'ailleurs sans doute rendu difficile par l'angularité de leurs gros éléments. Ils ne peuvent de toutes façons pas, dans la situation actuelle, représenter de grandes quantités transitant dans la Thio".

Toujours selon G. Garry (1998), les extractions de matériaux dans la rivière principale de la Thio ont un impact négatif sur la dynamique sédimentaire de la rivière, car ils suppriment le pavage de gros galets, constitué naturellement, qui tend à limiter l'érodabilité du fond du lit. Cette suppression provoque la mise à nu du sédiment brut, de granulométrie plus fine et plus aisément érodable et fragilise le lit et les berges.

En conclusion, l'acheminement de sédiments grossiers est controversé. Il est certes probable que ce type d'apport ne pourrait que contribuer à aggraver les inondations, toutefois le niveau de gravité et l'ampleur de ce facteur aggravant ne sont pas connus ou mesurés à l'heure actuelle.

Deux études de délimitation de la zone inondable de la rivière Thio sont disponibles. L'une fait appel à la méthode hydrogéomorphologique (Expérimentation de la méthode de cartographie hydrogéomorphologique en Nouvelle-Calédonie, G. Garry, 1998), l'autre à la modélisation hydrologique (Délimitation de la zone inondable de la rivière Thio, Hydrex, 1998). Il est intéressant de comparer les deux approches.

L'étude basée sur la méthode hydrogéomorphologique a été réalisée dans le cadre d'une commande de la Direction de l'Agriculture et de la Forêt (ADAVAR désormais). Cette méthode s'appuie essentiellement sur la photo-interprétation calée sur des contrôles terrains (laisses de crues). Le but recherché à l'époque était expérimental et la méthode était pour la première fois appliquée aux conditions de la Nouvelle-Calédonie. L'étude a été réalisée en une semaine d'interprétation et une journée de terrain. Les documents utilisés ont été les cartes topographiques à l'échelle du 1 / 10 000 et les photographies aériennes de 1986 (1 / 20 000) et de 1988 (1 / 8 000). Elle distingue les lits mineurs, moyens et majeurs (figure 25). En terme d'inondabilité, les auteurs interprètent la limite externe du lit majeur comme correspondant aux zones inondables de l'étude

basée sur la modélisation, par les crues à partir de la quinquennale.

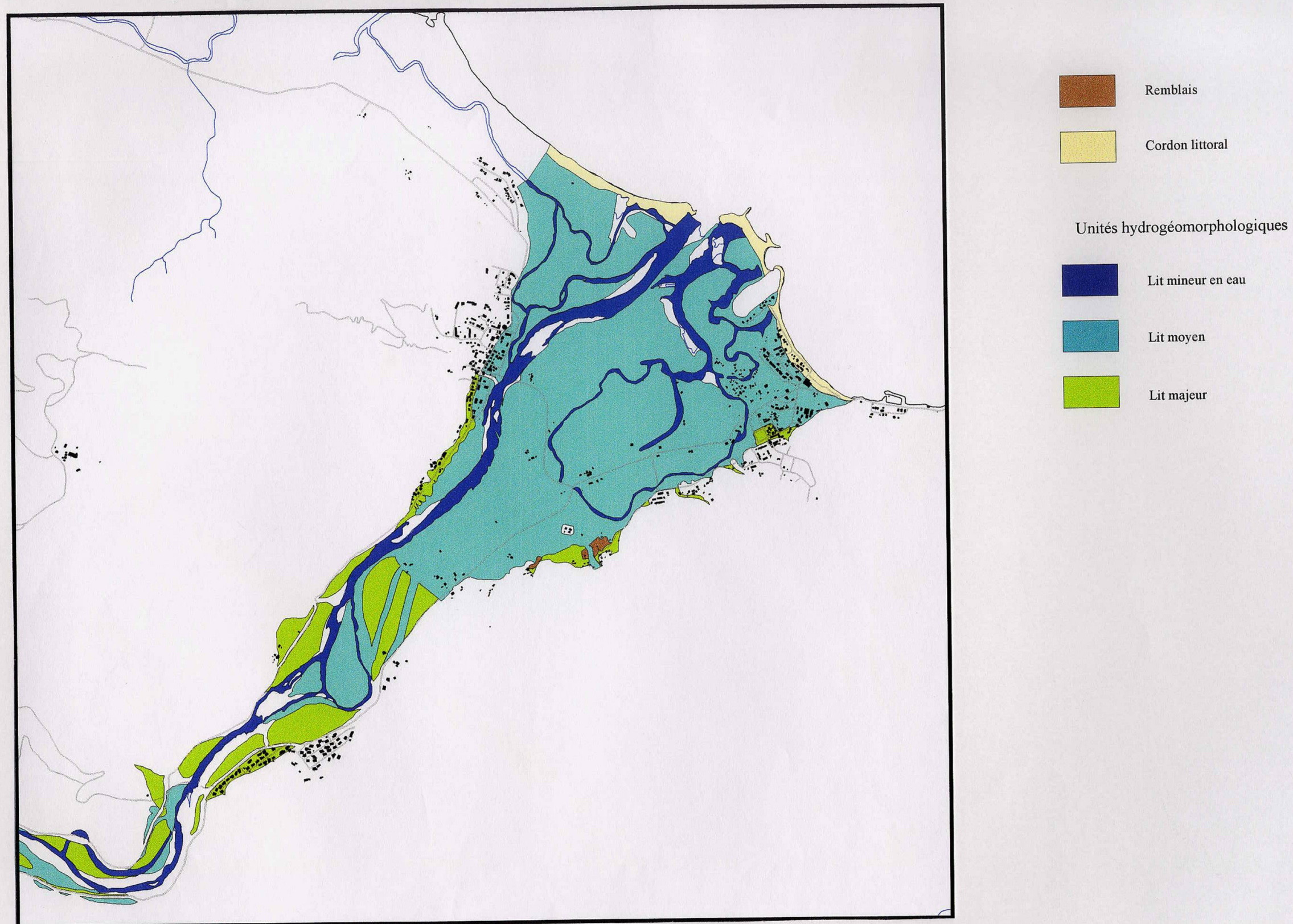
L'étude basée sur la méthode de modélisation hydrologique, commandée également par la Direction de l'Agriculture et de la Forêt, avait pour but de délimiter des crues associées à diverses périodes de retour (quinquennale, décennale, centennale). Elle a été réalisée essentiellement par mesures instrumentales de hauteur d'eau et de jaugeages, et sa précision est donc dépendante de la qualité de l'appareillage et de l'enregistrement. Des compléments d'information par enquête sur le terrain ont été acquis.

On constate une bonne concordance globale entre les deux méthodes (figure 26). La limite externe du lit majeur correspond assez bien à la limite des crues quinquennales de la modélisation. Cependant des incertitudes apparaissent :

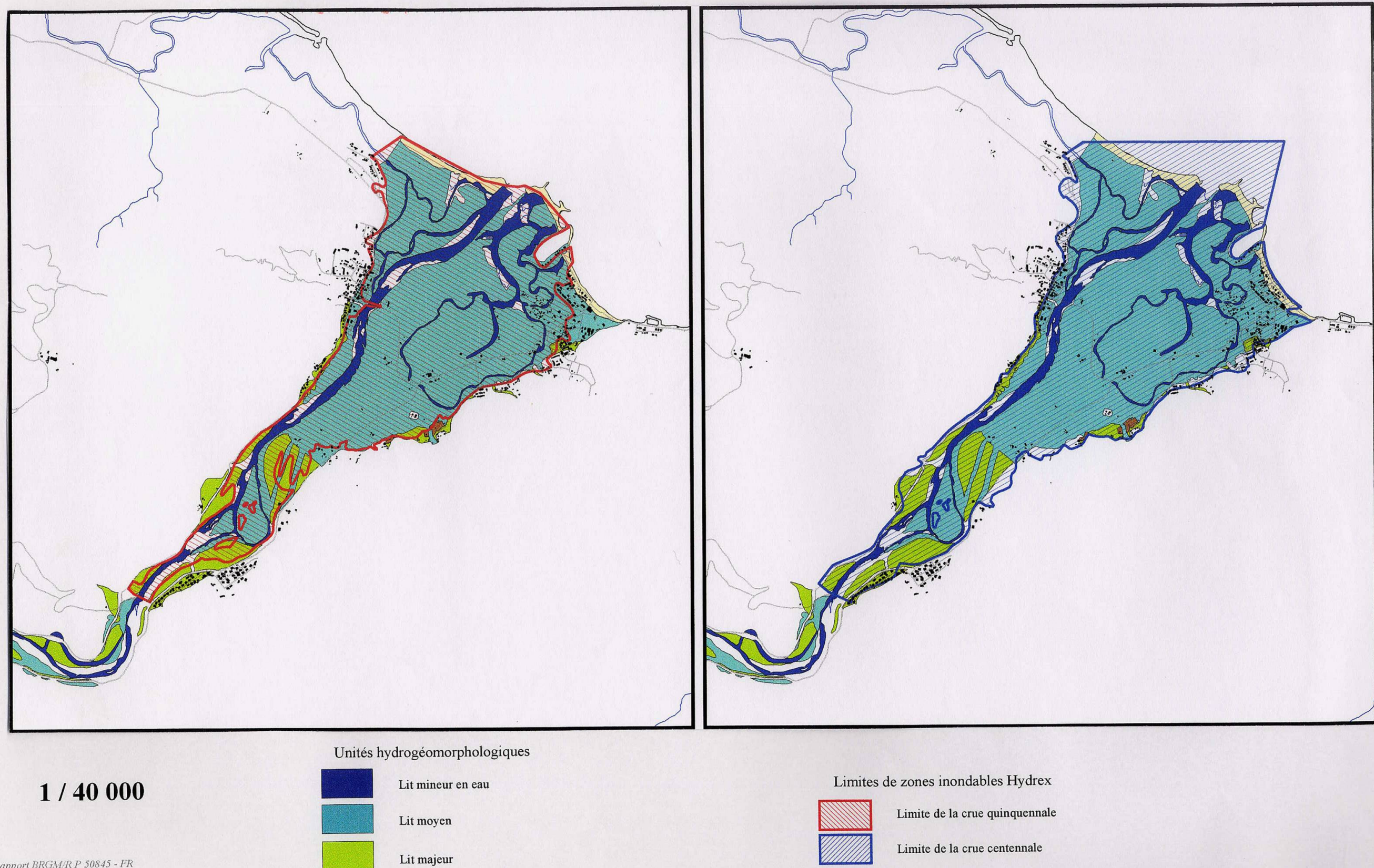
- **le village de Thio** : dans cette zone qui correspond à une succession continue de cônes torrentiels peu marqués, la limite du lit majeur (qui se superpose bien, à l'amont, à la limite quinquennale modélisée) n'a pas pu être interprétée par la méthode hydrogéomorphologique.

- **La zone de Saint-Philipo et des Pétroglyphes** : ces secteurs sont hors des crues quinquennales mais noyés en partie par les crues centennales d'après la modélisation hydrologique. Ils sont cependant contenus dans le lit majeur, c'est à dire recouverts à partir des crues quinquennales selon la méthode hydromorphogéologique.

Fig. 25 - Carte hydrogéomorphologique de la basse vallée de la Thio (Garry et al., 1998)



**Fig. 26 - Comparaison des zonages de la méthode hydrogéomorphologique (Garry et al., 1998)
et de la méthode basée sur la modélisation hydrologique (Hydrex, 1998)**



CONCLUSIONS

Cette opération de "**Cartographie des formations superficielles et des aléas mouvements de terrain**" représente **une phase amont d'inventaire des désordres** et surtout **de compréhension des phénomènes** afin d'en dégager les paramètres importants. Ce premier dégrossissage doit permettre de hiérarchiser les aléas, d'en proposer une typologie, afin de mieux cibler les études ultérieures sur des zones d'étendue plus restreinte, communales par exemple devant faire l'objet de PUD.

Elle s'appuie en premier sur une actualisation des précédents levés géologiques, qui sont complétés par les formations superficielles et d'altérations et amenés de l'échelle du 1 / 50 000 à celle du 1 / 25 000 (carte géologique et des formations superficielles en annexe 1). Parallèlement, un inventaire de tous les aléas anciens ou actuels visibles est effectué (carte informative des phénomènes recensés). Puis une typologie des aléas est proposée ainsi qu'une évaluation de chacun d'eux. La cartographie de susceptibilité aux aléas qui est proposée, doit être prise comme **un document d'orientation** indiquant les phénomènes susceptibles de se produire dans telle ou telle région avec un certain niveau et non pas comme un zonage précis.

Il est clair que chaque nouvelle opération annuelle, dans de nouveaux secteurs, améliorera nos connaissances. L'étude de chaque zone sensible apporte notamment son lot de nouvelles informations et ses enseignements.

Les conclusions qui sont présentées ici, sur la zone de Thio, ne peuvent donc être que partielles mais on peut d'ores et déjà énoncer un certain nombre de grandes règles et mettre l'accent sur certains contextes géologiques et géomorphologiques particulièrement générateurs d'aléas.

Les aléas dont le niveau de gravité est le plus élevé sont localisés dans les massifs de

péridotites. On peut même dire que l'essentiel de l'effort de compréhension des aléas en Nouvelle-Calédonie doit être dévolu à ces "massifs miniers". Avec leurs dénivellations importantes, leur fracturation et une altération profonde et irrégulière, ces massifs dominants le paysage, sont des zones de contrastes importants et de gradients forts, dont le démantèlement génère des phénomènes souvent soudains et de grande énergie à l'occasion de crises cycloniques. Les volumes de matériaux mis en jeu y sont parfois considérables.

Les aménagements, souvent situés en contrebas de ces reliefs, sont naturellement exposés à ces dangers perchés. Concernant les mouvements de terrain, on constate dans la région de Thio que les risques sont essentiellement ciblés sur le réseau routier (franchissement des creeks Kouangoué, Bel-Air, Jeanne et Marie). Les différentes zones d'habitation, dont le village de Thio, ne sont pas dans des zones exposées à des mouvements connus (SIRAS, 2001). En revanche, les risques liés aux aléas torrentiels et à l'aléa inondation, qui ne sont pas traités dans cette étude, sont réels avec un impact sur la voirie pour les premiers et un impact sur les habitations pour les seconds.

Les anciennes exploitations minières et tout leur cortège d'aménagement viennent interférer dans cette situation déjà complexe. Le secteur de Thio est au centre de la problématique de l'impact de l'activité minière sur le milieu naturel.

Les phénomènes déclenchés par les épisodes de fortes précipitations se succèdent tout le long d'une chaîne de l'amont vers l'aval, depuis les versants perchés jusqu'à la vallée principale de la Thio. Les aléas concernés sont divers, depuis les mouvements de terrains sur les versants (glissements, laves torrentielles, ravinements), puis l'aléa torrentiel au sens large (débordements, charriages) et enfin l'aléa inondation dans la vallée de la Thio.

A tous les niveaux, ce mode naturel d'évolution des paysages en milieu montagneux est aggravé par l'activité extractive. Cela concerne plus particulièrement les anciennes zones d'exploitation et les anciennes pratiques dont l'héritage pèse lourd dans l'équilibre du milieu naturel. L'augmentation des surfaces mises à nu a accru le ruissellement qui en retour a augmenté la capacité de transport en charge solide des cours d'eau. Les anciennes décharges dans les versants offrent un stock de matériaux de toutes granulométries facilement mobilisables. Certains torrents en charrient des quantités considérables. Au final, le comblement du lit de la Thio est accusé d'aggraver les inondations de la grande plaine alluviale.

Ces problèmes sont aujourd'hui en régression du fait des dispositifs anti-érosifs et de protections pratiqués, mais l'effort doit être constant et les ouvrages construits doivent faire l'objet d'une surveillance.

Au cours de cette étude nous avons voulu mettre l'accent sur deux aspects particuliers de cette problématique :

1 – Préciser la part de ce qui revient au milieu naturel et de ce qui relève de l'activité anthropique : Nous avons retrouvé dans la région de Thio le même type de zones sensibles aux mouvements de terrain que nous avons pu mettre en évidence dans d'autres régions lors des phases précédentes de ce programme. Il s'agit des zones d'épaississement de la semelle serpentineuse de la nappe des péridotites, source de désordres quasiment systématiques. Dans ce contexte géologique particulier, les propriétés géomécaniques médiocres du terrain alliées à des venues d'eau, induisent tout un cortège de désordres (glissements rotationnels ou translationnels, ravinements régressifs) dont l'évolution est souvent incontrôlable du fait de l'ampleur des volumes concernés. C'est le cas des glissements du creek Bel-Air et du Camp-

des-sapins ou du ravinement du creek Kouangoué.

Ces phénomènes ont une origine naturelle et peuvent être aggravés par les aménagements. Dans le cas du creek Bel-Air et du Camp-des-sapins, les désordres sont visibles sur les documents disponibles bien avant le début des exploitations.

2 – Plaider pour une prise en compte globale de tous les aspects des risques du secteur de Thio, depuis les mouvements de terrain en amont, jusqu'au risque d'inondation à l'aval. C'est pourquoi nous avons essayé d'intégrer le plus grand nombre de données disponibles concernant les différents types de risques, bien que seul le risque "mouvement de terrain" soit concerné en principe par cette étude.

Références bibliographiques

Allenbach, 1999, Programme général de la mise en valeur de la région de Thio (composante géosciences). Reconnaissance écologique de l'estuaire de la Thio et de sa microfaune benthique, UFP.

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 (DGUIHC). La documentation française.

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

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

Cadiou JY., 1995, Description et étude de l'impact des exploitations minières sur l'environnement. Rapport de stage de fin d'études, Ecole des mines de Nancy.

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.

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, 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

Donnadieu JP., Marion F., 1995, Réaménagements des sites Plateau de Thio, Mission d'expertise des sites. SIRAS.

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

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

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

Guy B., Moutte J., Lajoinie 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.

Hydrex, 1998, Délimitation de la zone inondable de la rivière Thio, Territoire de Nouvelle-Calédonie, Direction de l'Agriculture et de la forêt, Service de l'aménagement, Commune de Thio.

Improta L., Lagier M., La Nouvelle-Calédonie : Un paysage et une société marqués par le nickel; les problèmes écologiques, prévention et lutte; mémoire de maîtrise, Université d'Aix-Marseille II, Institut de géographie.

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

Lozes, Yerle J.J., 1976, Carte géologique à l'échelle du 1 / 50 000 et notice explicative sur la feuille Thio, Territoire de la Nouvelle-Calédonie – BRGM

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., Lafoy Y., 1998, Field mapping of superficial deposits for environmental development and geological hazards mitigation

in New Caledonia, Abstract of papers presented at the STAR Session, SOPAC (South Pacific Applied Geoscience Commission) miscellaneous report 300, 27th SOPAC, pp. 26-27, Session. Suva, Fiji.

Maurizot P., Lafoy Y., 1998, Cartographie des aléas naturels (Mouvements de terrain, érosion) dans le Territoire de Nouvelle-Calédonie, Zone de Dumbéa – Païta, Rapport BRGM N° 40 403. Maurizot P., Lafoy Y., 1998, Cartographie des aléas naturels (Mouvements de terrain, érosion) dans le Territoire de Nouvelle-Calédonie, Zone de Pouembout, Rapport BRGM N° 40 404.

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

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

Maurizot P., Lafoy Y., 2000, Cartographie des aléas naturels (Mouvements de terrain, érosion) dans le Territoire de Nouvelle-Calédonie, Zone de Touho-Poindimié, Rapport BRGM N° 50 846.

Meunier M., 1990, Commission de réhabilitation de la région de Thio. Etude des transports solides torrentiels (creek Jeanne et Marie, creek Kouangoué, rivière Nakalé), CEMAGREF.

Meunier M., 1990, Commission de réhabilitation de la région de Thio. Compte-rendu de mission, Analyse de la torrentialité du creek Jeanne et Marie et des aménagements au niveau de la RT4, CEMAGREF.

Meunier M., 1994, Les progrès de la connaissance et les méthodes d'étude des phénomènes torrentiels. La Houille Blanche, N° 3, pp. 25-31

Ministère de l'Aménagement du territoire et de l'Environnement, laboratoire central des Ponts et Chaussées, février 1999, L'utilisation de la photo- interprétation dans l'établissement des plans de prévention des risques liés aux mouvements de terrain, collection Environnement: les risques naturels, édition du

laboratoire central des Ponts et Chaussées, 128 p.

Ministère de l'Aménagement du territoire et de l'Environnement, ministère de l'Équipement, du Logement et des Transports, 1997, Plans de prévention des risques naturels prévisibles : guide général, La Documentation française, 76 pages

Ministère de l'Environnement, 1987, Plans d'exposition aux risques : mesures de prévention

- mouvements de terrain, La Documentation française, 529 pages.

Noesmoen A, 1970, Carte géologique à l'échelle du 1 / 50 000 et notice explicative sur la feuille Bouloupari, Territoire de la 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'Economie Rurale.

Siras Pacifique, 2001, Réaménagement des sites miniers de Thio Plateau et Saint-Louis. Etat des lieux Thio Plateau Phase A. Etude menée dans le cadre du programme européen SYSMIN (7 ème FED)

Annexe 1 :

Descriptif de la base de données SIG

Nom de couverture	Type d'entité	Contenu	Source
Thèmes géologiques			
Thiogeol	polygones	Contours géologiques	BRGM
Thiofailles	arcs	Discontinuités tectoniques	BRGM
Thiomorpho	arcs	Indications morphologiques	BRGM
Thèmes aléas			
Thioaleas	polygones	Aléas péri-exploitations	BRGM
Thioniches	arcs	Niches d'arrachement, glissements	BRGM

Tableau 1 - Liste des couches vecteurs (couvertures ArcView) par thèmes

Nom d'attribut	Signification	Valeurs	Signification
Code	Formation géologique		
		101	Remblais
		102	Matériaux grossiers charriés en rivière
		103	Matériaux fins charriés en rivières
		201	Sables coquilliers et argiles
		202	Alluvions actuelles
		203	Alluvions et cônes torrentiels
		204	Alluvions anciennes
		301	Coulées à dominante latéritique
		302	Coulées à dominante péridotitique
		303	Eboulis de péridotites
		304	Eboulis et blocs de silice
		401	Cuirasse démantelée
		402	Latérite épaisse
		403	Latérite mince
		404	Péridotites indifférenciées
		405	Péridotites serpentinisées
		406	Serpentine
		407	Silice et serpentine
		501	Flysch carbonaté (Eocène)
		502	Basaltes (Eocène)
		503	Calcaires pélagiques (Paleocene)
		504	Phtanites (Paleocene)
		505	Argilites, grès et charbons (Crétacé)
		506	Formation volcano-sédimentaire (Trias)
		507	Formation volcano-sédimentaire (Permien)

Tableau 2 - Thème géologie

Annexe 2 :

Carte géologique et des formations superficielles à 1 /25 000

Formations d'origine anthropique

- Remblais
- Matériaux grossiers charriés en rivières
- Matériaux fins charriés en rivières

Failles

Formations alluvionnaires et littorales

Formations littorales actuelles

- Sables coquilliers et argiles

Formations fluviatiles actuelles

- Alluvions actuelles
- Alluvions et cônes torrentiels
- Alluvions anciennes

Massifs miniers

Formations d'altération remaniées

- Coulées à dominante latéritique
- Coulées à dominante péridotitique
- Eboulis de péridotites
- Eboulis et blocs de silice

Formations d'altération in situ

- Cuirasse démantelée
- Latérite épaisse
- Latérite mince

Formations des péridotites

- Péridotites indifférenciées
- Péridotites serpentinisées
- Serpentinite
- Mur de silice dans serpentinite
- Silice et serpentinite

Substrat volcano-sédimentaire

- Flysch carbonaté (Eocène)
- Basaltes (Eocène)
- Calcaires pélagiques (Paleocene)
- Phtanites (Paleocene)
- Argilites, grès et charbons (Crétacé)
- Formation volcano-sédimentaire (Trias)
- Formation volcano-sédimentaire (Permien)

Planche 1 - Carte géologique et des formations superficielles (1 / 25 000)

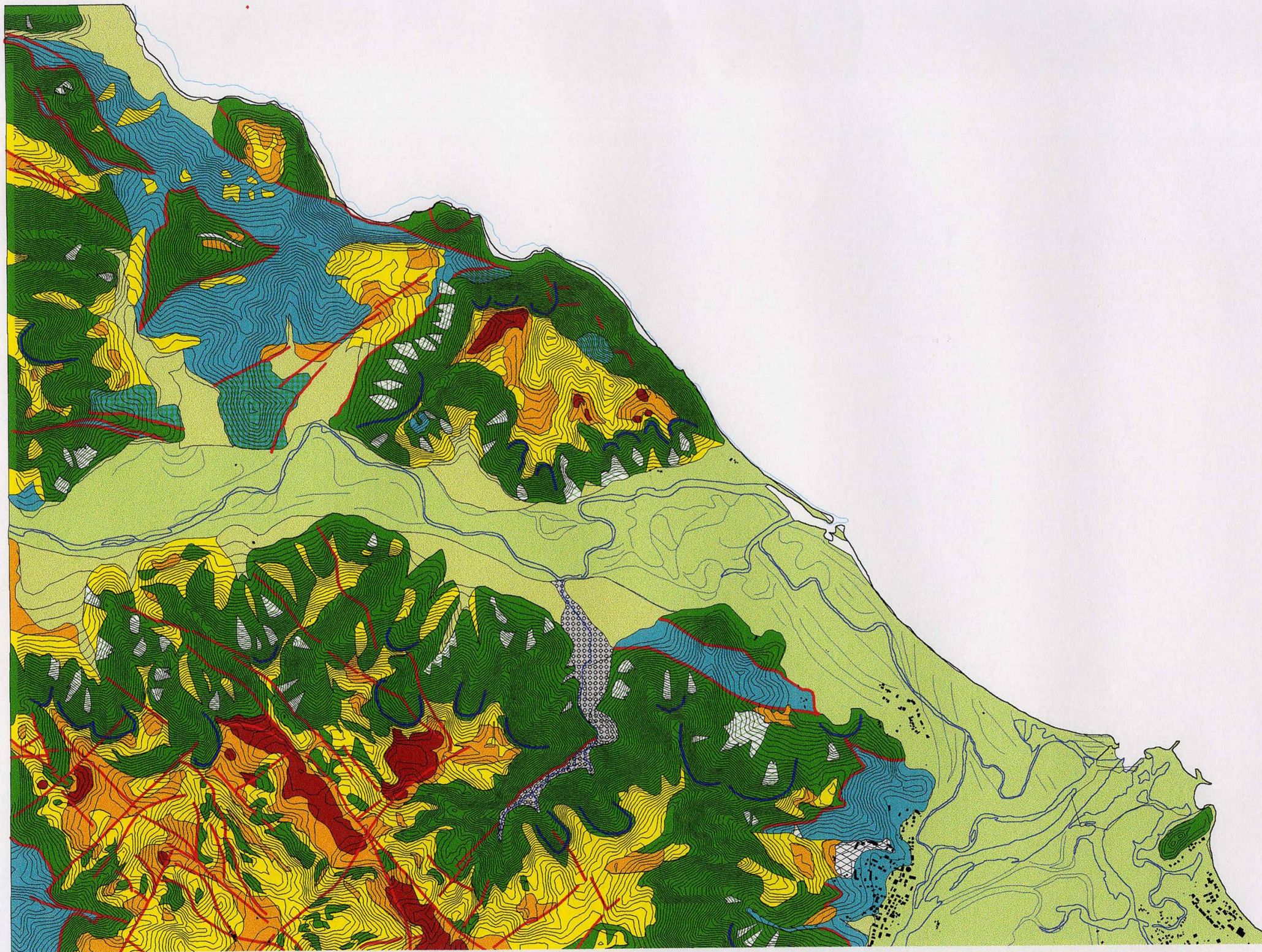


Planche 2 - Carte géologique et des formations superficielles (1 / 25 000)

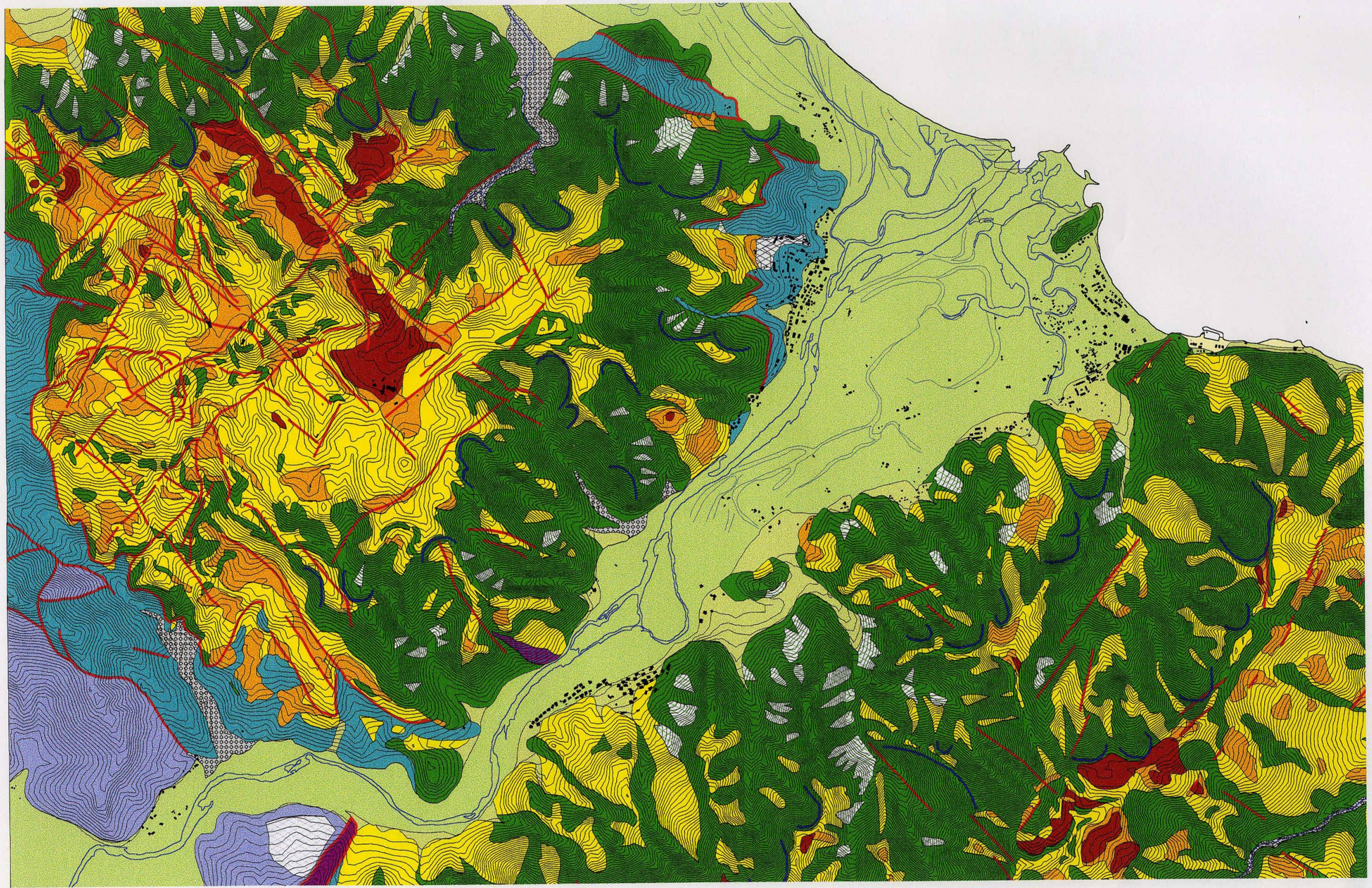


Planche 3 - Carte géologique et des formations superficielles (1 / 25 000)



Planche 4 - Carte géologique et des formations superficielles (1 / 25 000)

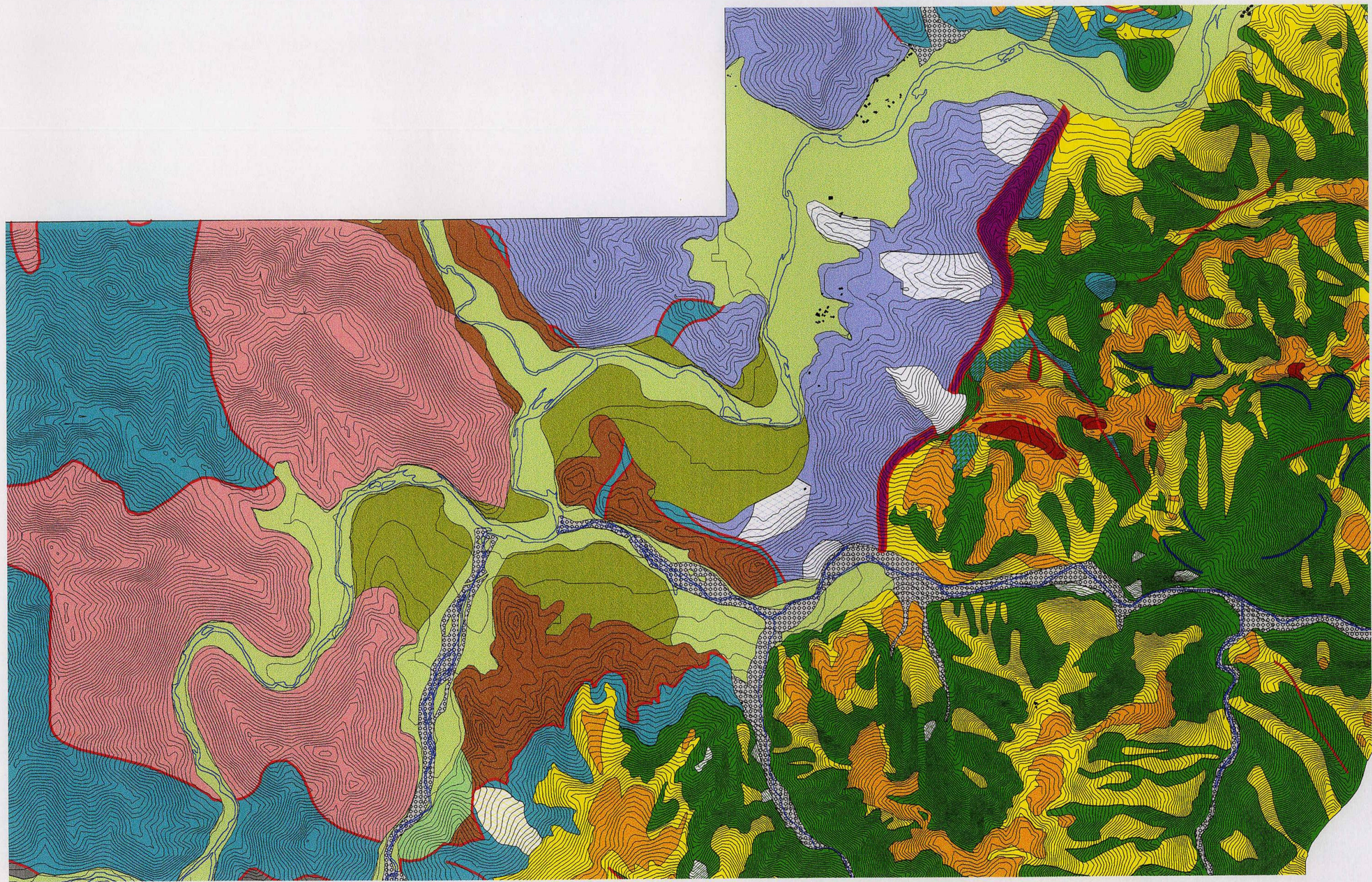


Planche 5 - Carte géologique et des formations superficielles (1 / 25 000)



Planche 6 - Carte géologique et des formations superficielles (1 / 25 000)

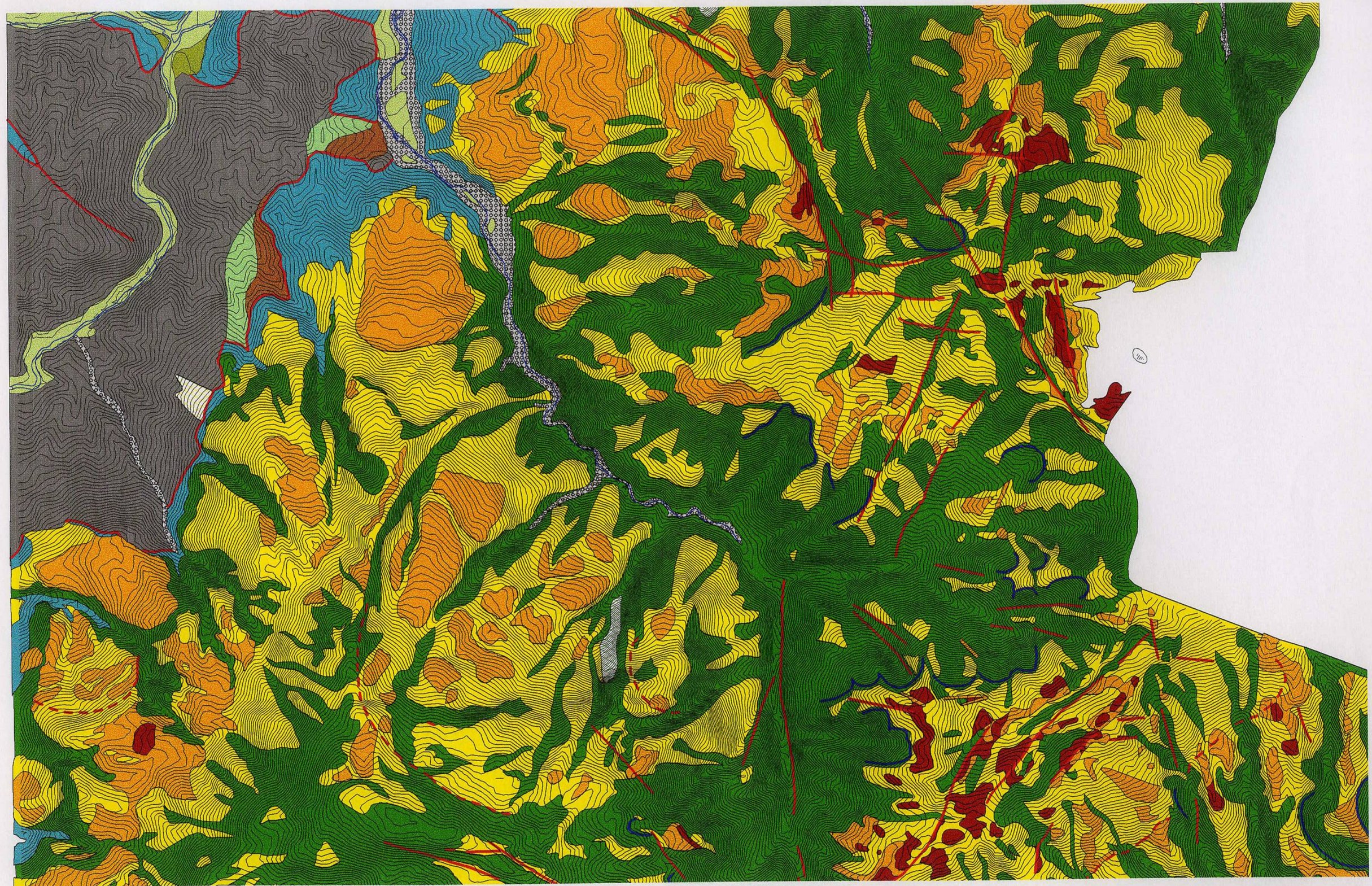
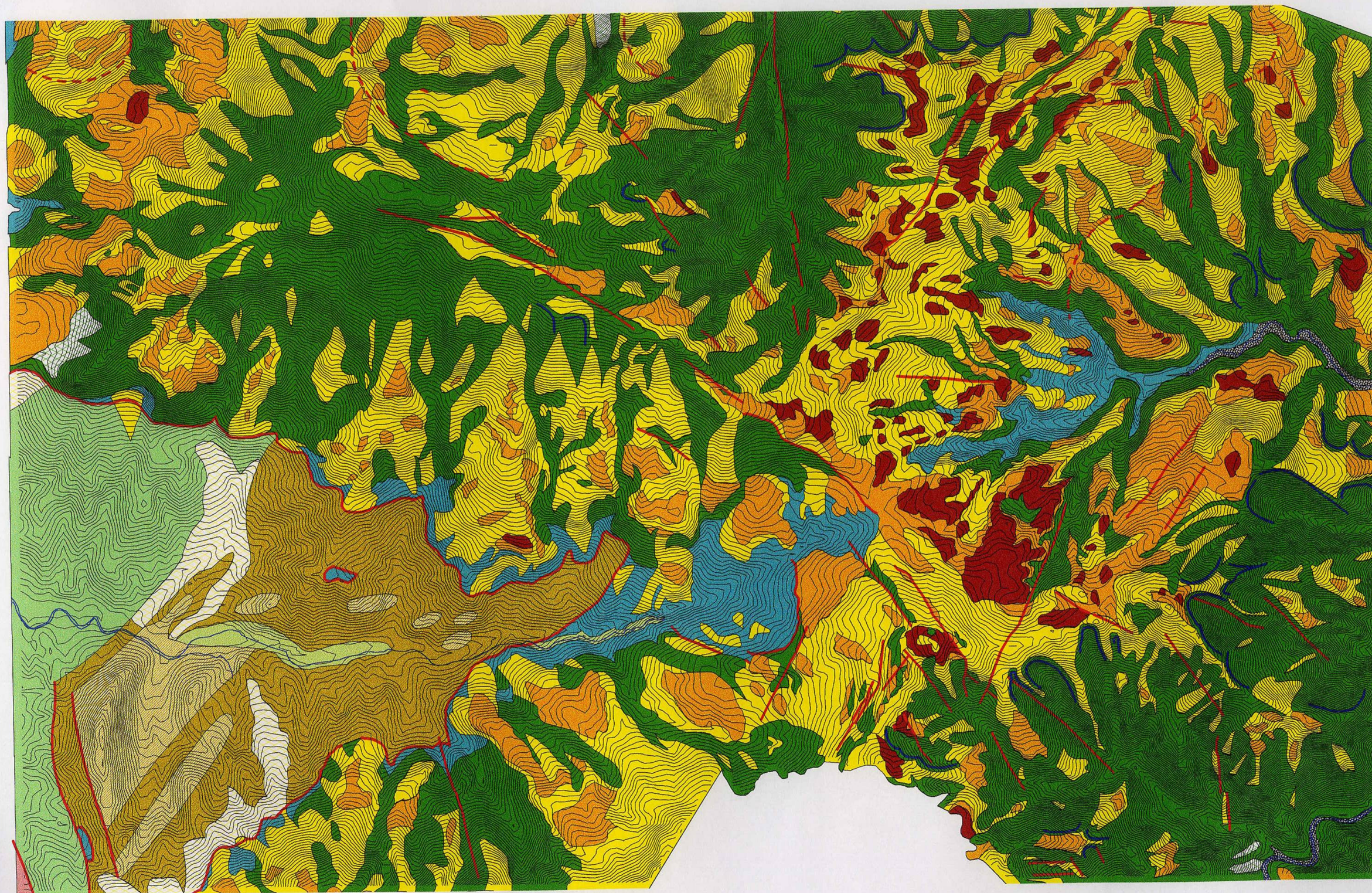


Planche 7 - Carte géologique et des formations superficielles (1 / 25 000)



Annexe 3 :

Carte informative des phénomènes à 1 /25 000

Sources

- **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.
 - **1985** : photographies SLN à 1 / 8000 en couleurs.
 - **1989** : photographies SLN à 1 / 8000 en couleurs.

Cartographie des formations superficielles et des aléas mouvements de terrain, zone de Thio – Nouvelle-Calédonie


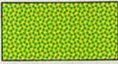




-  Zones d'exploitations indifférenciées
-  Décharges de matériaux fins en zone de versants
-  Décharges de matériaux grossiers en zone de versants
-  Zones d'engravement et de charriages torrentiels
-  Zones de ravinement actif
-  Niches d'arrachement des glissements

Planche 1 - Carte informative des phénomènes recensés (1 / 25 000)

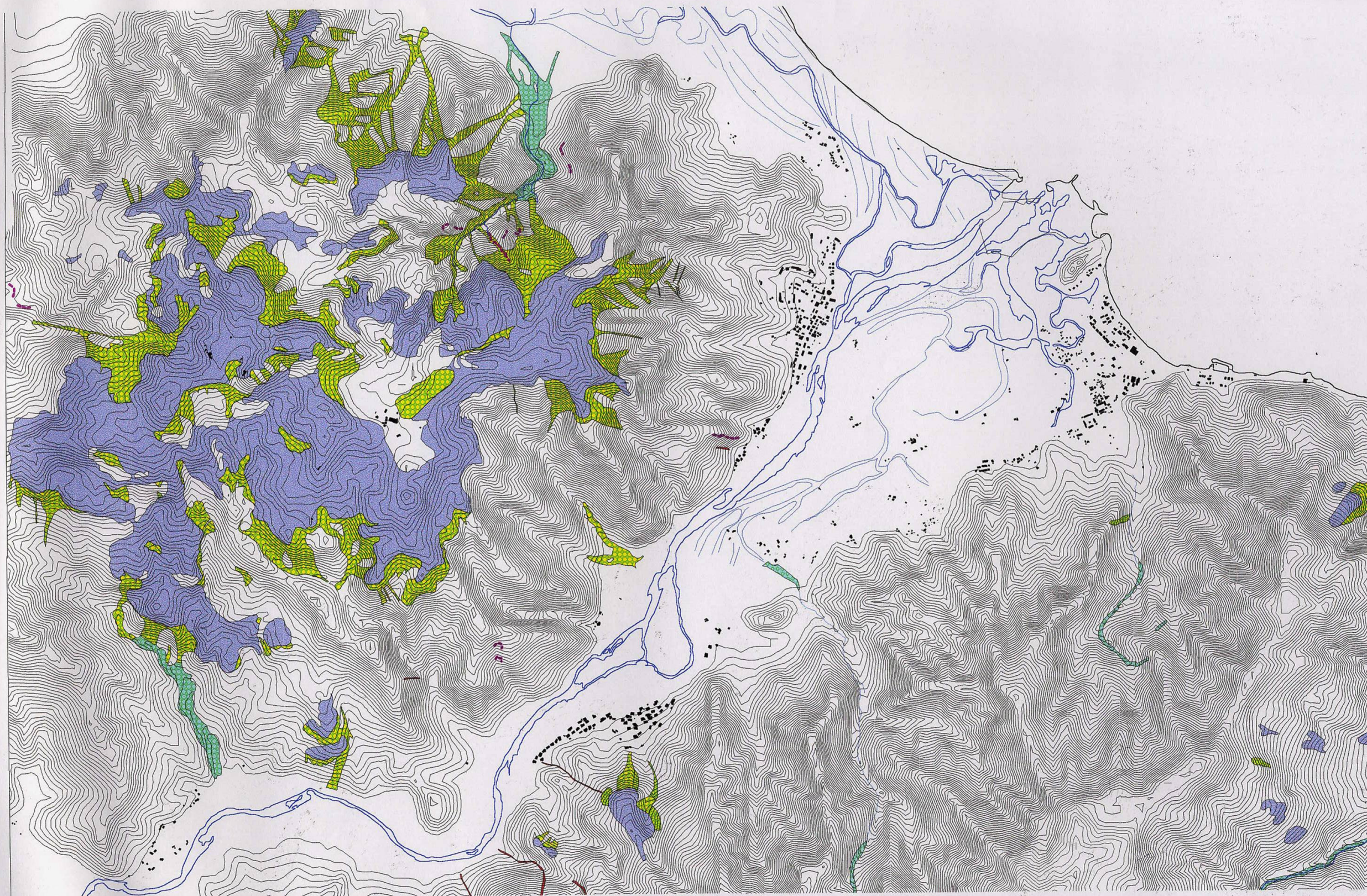


Planche 2 - Carte informative des phénomènes recensés (1 / 25 000)

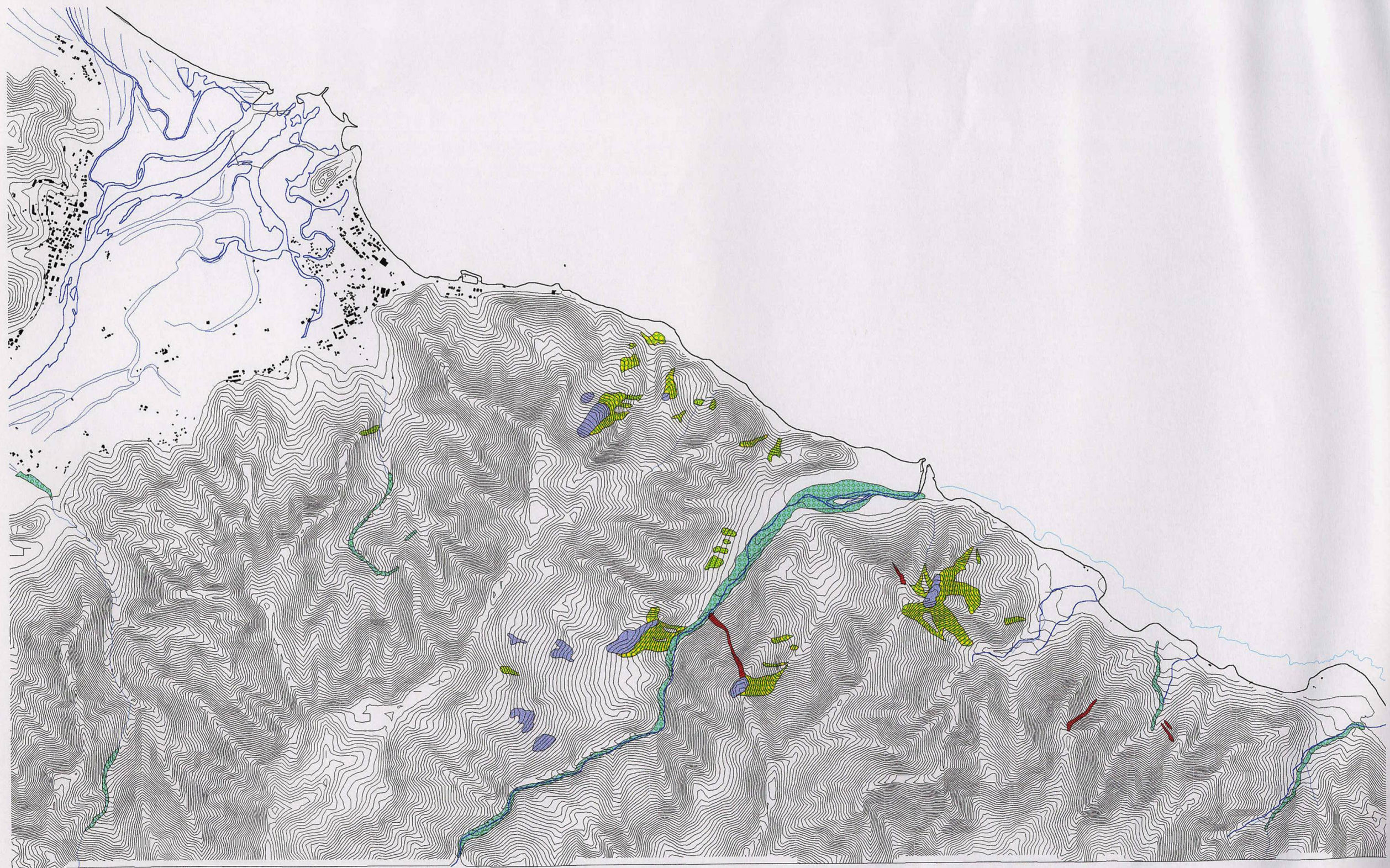


Planche 3 - Carte informative des phénomènes recensés (1 / 25 000)

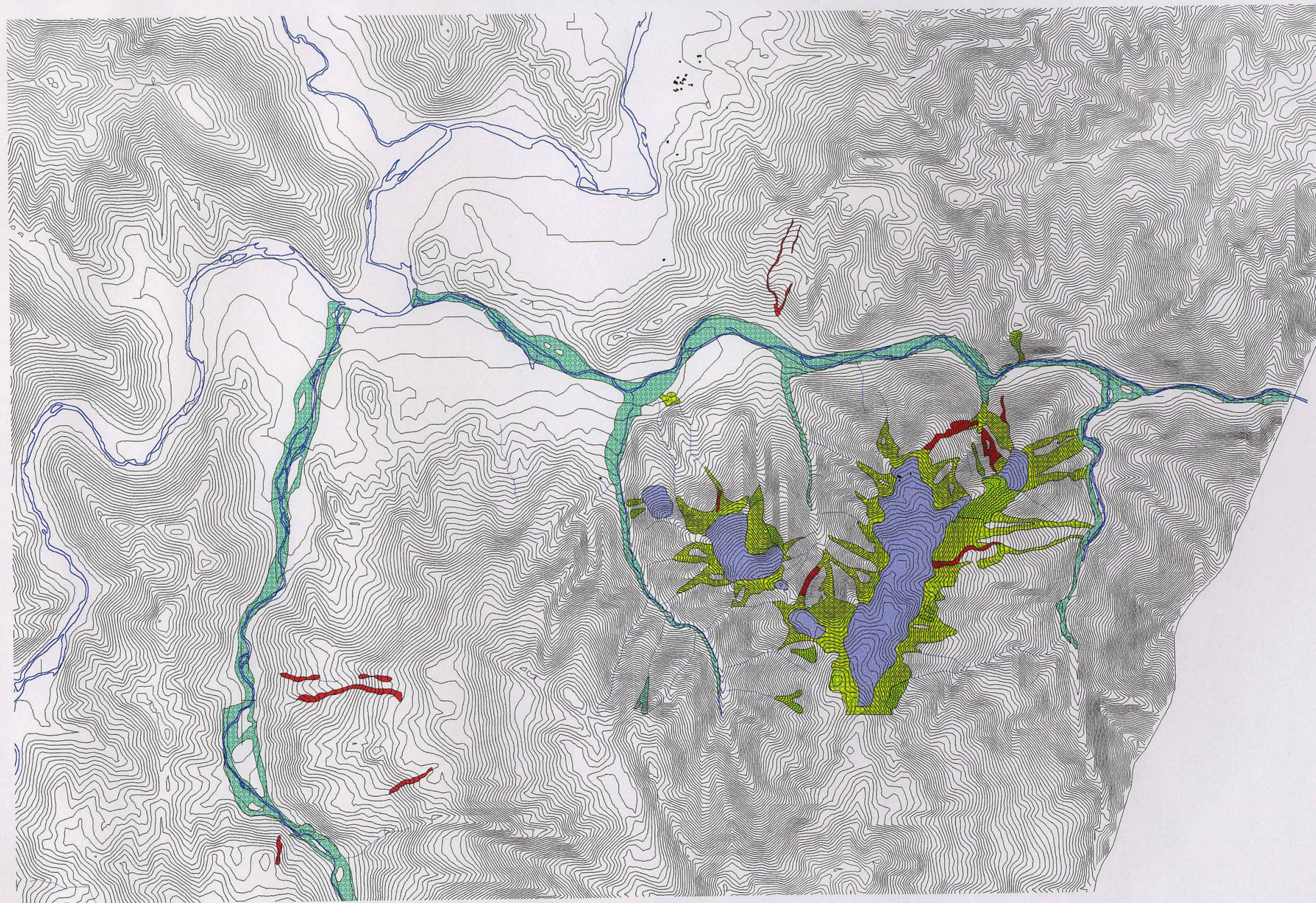


Planche 4 - Carte informative des phénomènes recensés (1 / 25 000)

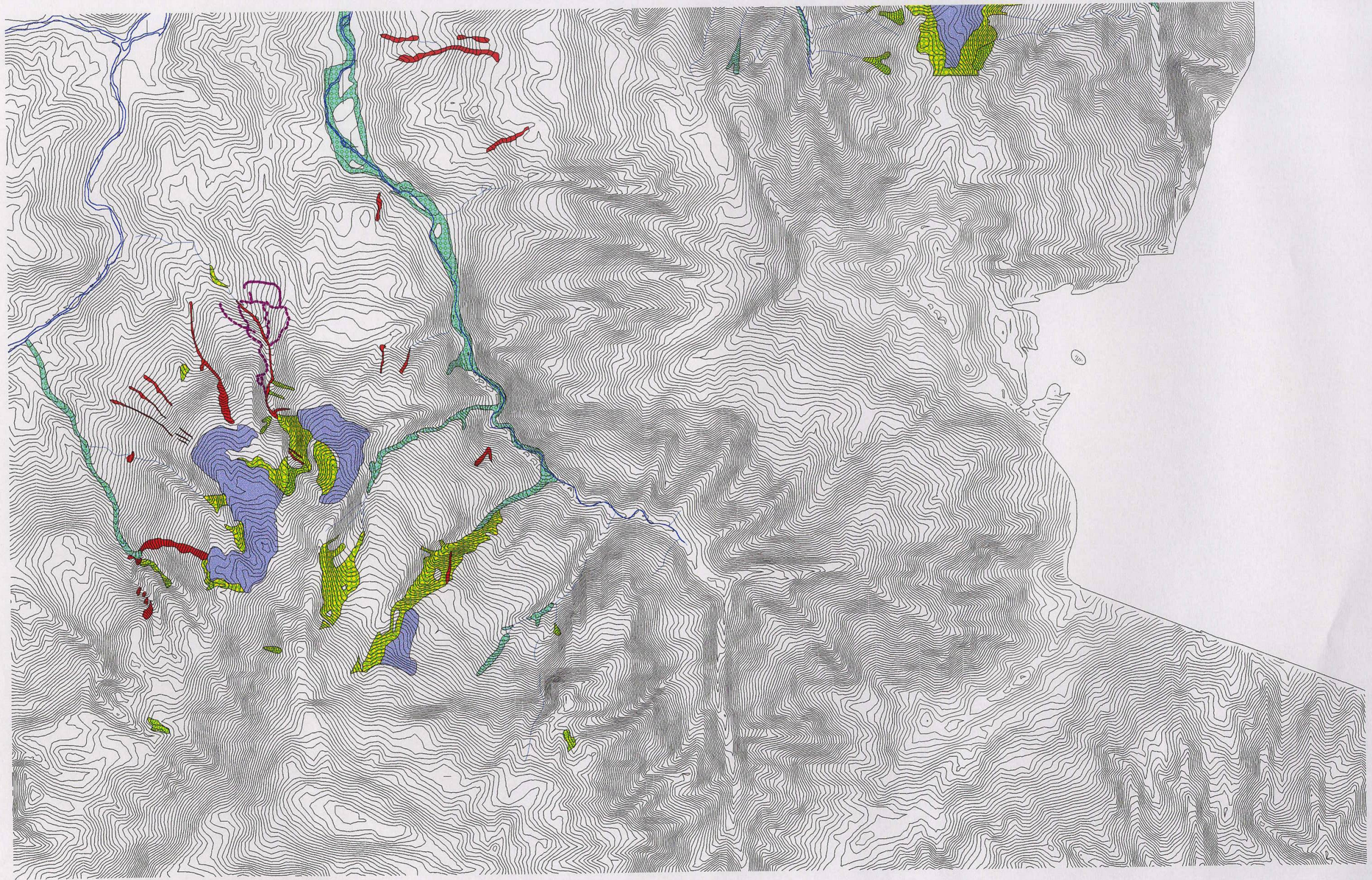


Planche 5 - Carte informative des phénomènes recensés (1 / 25 000)

