CARACTERISATION D'UN BARRAGE NATUREL CONSECUTIF A UN EBOULEMENT DE GRANDE AMPLEUR SUR LE SITE DE SECHILIENNE

CETE de Lyon
CEMAGREF
LIRIGM

1 - RAPPEL DES OBJECTIFS

L'évaluation du risque induit par les mouvements de terrain de grande ampleur et plus particulièrement par les grands éboulements rocheux d'un volume supérieur au million de mètres cubes, implique une meilleure compréhension des mécanismes qui président à leur déclenchement, à leur propagation et à la fragmentation des matériaux transportés.

En raison de la complexité des phénomènes mis en jeu et de l'importance des dommages potentiels, l'évaluation correcte du risque dont dépend la gestion de la sécurité constitue une question à la fois essentielle et particulièrement difficile. La validité des études de vulnérabilité et la fiabilité des stratégies de prévention des zones exposées à ce type de risque majeur en dépendent largement. C'est notamment le cas en France pour le site de La Clapière dans les Alpes Maritimes et plus particulièrement pour le site de Séchilienne dans le département de l'Isère.

Sur le plan scientifique et technique une amélioration de l'évaluation de ces phénomènes complexes doit être recherchée notamment dans une meilleure analyse des conditions de propagation des matériaux éboulés et dans une meilleure évaluation de la fragmentation des matériaux et de la géométrie des dépôts d'éboulis ainsi constitués. Ces deux points font l'objet du programme de recherche qui a été réalisé en s'appuyant sur l'analyse de données de terrain de plusieurs sites caractéristiques ainsi que sur des études de modélisation appliquées pour partie aux données du site de Séchilienne.

2 - EQUIPES PARTICIPANTES

Trois équipes du PGRN ont participé au projet :

- le CETE de Lyon / LCPC, Mécanique des roches, dans le domaine de la télésurveillance, de l'instrumentation, et de l'auscultation des sites instables (notamment pour le site de Séchilienne), ainsi que dans le domaine de la modélisation de la propagation des grands éboulements (thèse en cours) ;

- le Cemagref, Division ETNA, pour l'étude des possibilités d'adaptation aux éboulements rocheux des modèles développés dans le domaine des avalanches (application développée sur les données du site test de l'éboulement de Charmonetier, Isère) ;

- le Lirigm sur les aspects géologiques, hydrogéologiques et morphodynamiques des mouvements de terrain et l'analyse des caractères géologiques et géomécaniques des sites de grands éboulements et des grandes instabilités de versants rocheux (notamment Séchilienne), et sur la fragmentation des matériaux éboulés.

3 - TRAVAUX REALISES

Le programme a bénéficié d'un cadre de recherche plus large établi par ailleurs portant sur la caractérisation et la modélisation des grands éboulements rocheux. Certaines données précédemment acquises ont pu être valorisées dans le projet, notamment en ce qui concerne l'analyse d'ensemble des sites d'étude ou le développement des concepts de modélisation.

Le travail réalisé dans le cadre du projet a porté sur les trois axes principaux suivants :

3.1 - Caractérisation géologique et géomécanique des versants rocheux instables et des matériaux produits par les grands éboulements

Cette partie de l'étude conduite par l'équipe du Lirigm, s'appuie sur des travaux de thèse effectués dans deux directions complémentaires :

3.1.1 - Méthodologie d'analyse des grands éboulements rocheux

La mise au point d'une méthodologie d'analyse et d'élaboration de données objectives concernant la description de cas réels d'éboulements rocheux a fait l'objet d'un travail de recherche en collaboration avec l'Université Laval au Québec (thèse de Réjean Couture). Cette étude a bénéficié de ce fait de certains travaux antérieurs réalisés au cours des années précédentes. Les travaux réalisés dans le cadre du projet ont porté plus particulièrement sur la validation de la méthodologie proposée et sur des tests d'application à des sites différents, notamment à des sites canadiens en complément des sites alpins précédemment étudiés.

Il s'agit de déterminer sur les sites considérés :

- le contexte géologique (lithologique, structural, hydrogéologique) ayant conduit à l'éboulement ;

- les caractéristiques les plus probables du mouvement en lui-même : volume de la masse mobilisée, propagation de l'éboulement, si possible le type de l'éboulement (éboulement en masse unique ou au contraire succession d'éboulements régressifs de volumes élémentaires plus faibles) ;

- une description objective de la masse mobilisée d'un point de vue physique, en vue d'en proposer une image représentative indispensable à toute modélisation. Il s'agit essentiellement de caractériser la blocométrie des matériaux résultant de l'éboulement et de déterminer la nature des relations qui peuvent être établies entre celle-ci et la maille de fracturation naturelle du massif rocheux origine. De ce point de vue, l'évaluation du degré de fragmentation des blocs au cours de l'éboulement est un élément important qui peut renseigner sur la dynamique du phénomène. Ainsi la très importante fragmentation des éboulis et la forme finale très émoussée des blocs de diorite produits par le grand écroulement de Val Pola en Valtelline (Italie, 19887) ne peuvent s'expliquer qu'en raison du haut niveau d'énergie mis en jeu par le phénomène.

Plusieurs sites de grands éboulements dans les Alpes françaises, présentant des caractères différents et complémentaires, ont été sélectionnés et analysés dans le cadre de cette étude, notamment le site de l'écroulement de la Madeleine en Haute Maurienne et le site de Charmonetier dans l'Isère. Parallèlement à l'analyse du contexte géologique dans lequel ces éboulements se sont développés, une étude de la blocométrie et de la constitution des dépôts a pu être menée sur ces deux cas, notamment sur le site de l'éboulement de Charmonetier (1987), retenu comme site test en raison de la qualité des observations et des données disponibles, bien qu'il s'agisse d'un éboulement de moyenne importance.

L'évaluation de la méthodologie de caractérisation des grands éboulements précédemment élaborée, a été également effectuée sur des sites canadiens dans le cadre de la collaboration avec l'Université Laval du Québec. Trois sites de grands éboulements rocheux de la Cordillère canadienne (sites de Slide Mountain, de Queen Elizabeth et de Frank) ont fait l'objet de travaux de terrain en application de la méthodologie mise au point pour l'étude des sites des Alpes françaises (cartographie géologique, données lithologiques et structurales, géométrie et fracturation naturelle du massif rocheux en place, blocométrie et fragmentation de la masse éboulée, caractérisation géomécanique).

Plusieurs articles scientifiques ont été rédigés, relatifs à la description géologique des sites, aux mesures effectuées et à l'étude de la granulométrie des masses éboulées.

3.1.2 - Etude des caractéristiques du site de Séchilienne

Parallèlement aux études opérationnelles effectuées dans le cadre de l'évaluation et de la gestion du risque majeur d'éboulement de Séchilienne, un programme de recherche scientifique concernant ce cas d'instabilité de versant de grande ampleur est engagé depuis plusieurs années. Ce programme se développe actuellement dans le cadre d'une thèse en cours d'achèvement sur les mécanismes de déformation et de rupture affectant notamment ce site (thèse Jean-Marc Vengeon).

Le travail effectué dans le cadre de ce projet a porté plus particulièrement sur un approfondissement des données lithologiques et structurales sur la base d'un nouveau fond topographique plus précis (échelle 1/2000) permettant l'établissement d'un levé géologique détaillé. Ce travail a permis d'apporter un nouvel éclairage sur la différenciation des zones, par la mise en évidence de données structurales importantes pour la compréhension du contexte géologique de l'instabilité et de l'importance de la fracturation du massif. Ces éléments sont déterminants notamment pour l'évaluation de la fragmentation probable des matériaux au cours de l'éboulement et de la granulométrie des dépôts. Parallèlement, les études de modélisation des mécanismes de déformation, développées dans le cadre d'un autre projet de recherche, ont permis de mettre en évidence une bonne cohérence de ces résultats avec les données de l'auscultation, et de confirmer les hypothèses relatives au mécanisme de rupture du massif qui contrôle actuellement les mouvements du versant.

3.2 - Etude de l'adaptation des modèles d'avalanches au cas des éboulements rocheux

Cette partie du projet a été développée par l'équipe du Cemagref, Division ETNA. Le travail a porté sur l'étude des possibilités d'adaptation des modèles développés dans le cas des avalanches de neige, au cas des avalanches rocheuses. Cette orientation est motivée par l'extension observée depuis quelques années du domaine d'application des équations de Saint-Venant à la modélisation des écoulements gravitaires rapides de fluides à rhéologie complexe. Dans le cas des avalanches rocheuses, l'approche développée repose à la fois sur les équations de Saint-Venant et sur un modèle rhéologique de Mohr-Coulomb considérant l'avalanche comme un fluide granulaire. Le système d'équations est résolu par un schéma numérique de type Godunov sur un maillage en éléments finis permettant de prendre en compte la topographie du versant.

Parallèlement au développement de la modélisation numérique, une expérimentation a été effectuée sur modèles réduits physiques comportant une zone d'écoulement canalisé de forte pente débouchant par un élargissement brusque sur une zone de dépôt de pente nulle. Différentes expériences ont été réalisées avec différents volumes initiaux de sable, de gravier et de billes de PVC en mesurant dans chaque cas l'évolution de la hauteur de l'avalanche en fonction du temps en trois points de la zone d'écoulement, le champ de vitesse à la surface de l'avalanche et la cartographie de la zone de dépôt.

Les essais réalisés sur modèles réduits ont été simulés par modélisation numérique en prenant en compte l'inclinaison du canal, le volume initial des matériaux et l'angle de frottement mesuré. La comparaison des deux types de modèles montre une bonne concordance des résultats de la modélisation numérique et des données expérimentales mesurées. Ces premiers résultats apportent une confirmation sur les possibilités d'adaptation de ce type de modèle au domaine des éboulements rocheux.

Une application du modèle d'avalanche a été effectuée à partir des données de l'éboulement de Charmonetier qui a fait l'objet d'une étude détaillée dans le cadre de la thèse de Réjean Couture (données géologiques, cartographie des zones de départ et d'étalement, modèle numérique de terrain). Les résultats de la simulation montrent que le modèle numérique d'avalanche rend compte globalement assez bien des trajectoires de l'éboulement et des zones de dépôt observées.

3.3 - Amélioration de la modélisation de la propagation des éboulements en grande masse

Cette partie du projet développée par l'équipe du CETE de Lyon vise à améliorer les outils de modélisation notamment en ce qui concerne la morphologie des dépôts (géométrie du barrage naturel) dans le cas d'un éboulement en grande masse faisant intervenir un phénomène de fluidisation des matériaux en mouvement. Les progrès dans cette direction sont étroitement liés à une amélioration des connaissances sur le comportement des écoulements granulaires, et notamment sur la nature des mécanismes de dissipation d'énergie au sein de l'écoulement. Cette étude fait l'objet d'une thèse. Le travail réalisé dans le cadre du projet a porté sur les points principaux suivants :

3.3.1 - Etude de la contribution d'une approche particulaire

La dissipation d'énergie au sein d'un éboulement dépend essentiellement des mécanismes de choc entre les particules et avec le sol, de frottement interne dans la masse en mouvement et au contact du versant. L'approche particulaire s'efforce de prendre en compte dans la modélisation la nature physique des lois de contact unilatéral avec frottement entre les solides. Le transfert d'énergie au moment des impacts et des collisions est pris en compte à travers la modélisation du comportement mécanique du contact. Ce dernier est décrit par la notion d'interface auquel sont associées des lois de compliance traduisant les interactions de contact entre solides (relations entre déplacements, contraintes et vitesses au niveau de l'interface).

Il est intéressant d'examiner dans quelle mesure l'analyse des chocs entre solides développée au moyen d'un modèle particulaire permet d'établir une liaison entre les caractéristiques mécaniques du contact définies par les lois de compliance déterminables expérimentalement, et les paramètres de calcul classiques utilisés en mécanique des chocs dans les lois de restitution ou dans les lois de percussion, dont la détermination est difficile.

Ce point a fait l'objet d'une première étude sur la base des résultats théoriques et des algorithmes de calcul développés dans une thèse antérieure. Les travaux effectués dans le cadre du projet ont porté sur l'application d'un modèle particulaire à la détermination des caractéristiques de choc entre deux solides à partir de la connaissance des caractéristiques des lois de compliance de l'interface. Le problème est traité en considérant un cas type de collision entre deux solides (modélisant des blocs rocheux) pour différentes configurations du choc. Les résultats obtenus montrent que la modélisation du contact entre solides avec des lois d'interface ne permet pas d'envisager de généraliser cette méthode à l'étude des mouvements d'un ensemble important de particules en raison de la complexité de la modélisation. Ils confirment par contre l'intérêt de cette approche pour la détermination de caractéristiques de chocs entre solides plus représentatives, utilisables dans les modèles particulaires actuels.

3.3.2 - Etude de modélisation des écoulements granulaires

Les travaux réalisés sur cette partie de la recherche font l'objet font l'objet d'une thèse en cours d'achèvement (thèse Isabelle Rochet). Sur le plan expérimental, les études effectuées sur modèle physique en laboratoire ont pour objectif d'analyser plus particulièrement, à partir d'expériences d'écoulement de particules en canal incliné, les conditions d'expansion de l'écoulement en liaison avec les rebonds et les collisions de particules de forme irrégulière et les paramètres globaux de l'écoulement. Cette étude expérimentale qui est pratiquement achevée a comporté une importante étude paramétrique portant sur une quarantaine d'expériences d'écoulement en canal incliné, réalisées dans différentes conditions d'inclinaison et de rugosité et pour différentes conditions d'étalement des matériaux dans la zone d'arrêt. L'exploitation des données expérimentales enregistrées sur images vidéo et photographiques permet d'analyser les caractéristiques de l'écoulement des particules en mouvement (trajectoires, vitesses, densité, énergie, température granulaire) et la distribution de celles-ci au sein de l'écoulement. Ce travail d'analyse et d'interprétation se poursuit actuellement.

Sur le plan de la modélisation numérique des éboulements en grande masse, l'étude entreprise dans le cadre du programme 1995 a été poursuivie. Celle-ci a pour but d'examiner les conditions de prise en compte dans la formulation du modèle général d'écoulement de caractéristiques physiques et rhéologiques variables de manière spatio-temporelle au sein de l'écoulement. A ce stade de la modélisation les lois de comportement et les caractéristiques du milieu sont supposées connues ou déterminées par ailleurs (actuellement elles sont choisies à titre d'hypothèses de travail selon des modèles exploratoires).

Une phase préalable de cette étude a permis de sélectionner un code de calcul général utilisant les équations de Navier-Stokes susceptible de constituer un outil de calcul permettant de prendre en compte des lois de comportement et des caractéristiques du milieu non classiques et variables au cours de l'écoulement. Cette étape a été suivie d'une série de tests visant à évaluer les possibilités et les limites d'adaptation de ce code pour la modélisation de l'écoulement de matériaux granulaires. Ce travail entrepris en 1995 s'est poursuivi par l'étude d'une configuration type d'écoulement.

Les résultats obtenus soulignent la difficulté de la modélisation numérique de l'écoulement d'un milieu doté de lois de comportement complexes. En dépit des difficultés de mise en oeuvre et de fonctionnement des codes de calcul généraux d'écoulement dans des conditions inhabituelles, ces résultats ont permis de montrer la faisabilité de la démarche et les possibilités potentielles de ce type de modélisation. Toutefois le développement d'un code de calcul spécifique sera ultérieurement nécessaire pour permettre une meilleure adaptation aux caractéristiques particulières du problème (lois de comportement notamment).

3.4 - Etude de la géométrie d'un barrage naturel - Application au cas de Séchilienne

En liaison avec l'étude des conséquences d'un éboulement en masse sur le site de Séchilienne, plusieurs simulations ont été réalisées pour différentes hypothèses de volume d'éboulement, pour étudier les différents scénarios de barrage naturel résultant de l'éboulement. L'étude a été réalisée en utilisant le modèle de simulation développé au CETE de Lyon et précédemment appliqué à l'étude du site de La Clapière (Alpes-Maritimes). Les résultats obtenus mettent en évidence une augmentation importante de l'emprise du barrage sur le fond de la vallée en fonction de l'augmentation du volume de l'éboulement, au-delà de l'effet purement géométrique lié à l'accroissement de celui-ci. De même la morphologie de l'éboulis formée apparaît différente. L'influence de la morphologie du fond de la vallée est également bien mise en évidence est entraîne une divergence nette de l'éboulement de part et d'autre du verrou de Monfalcon.

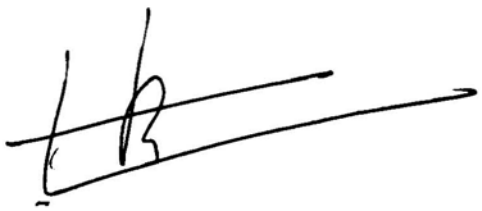
4 - CONCLUSION

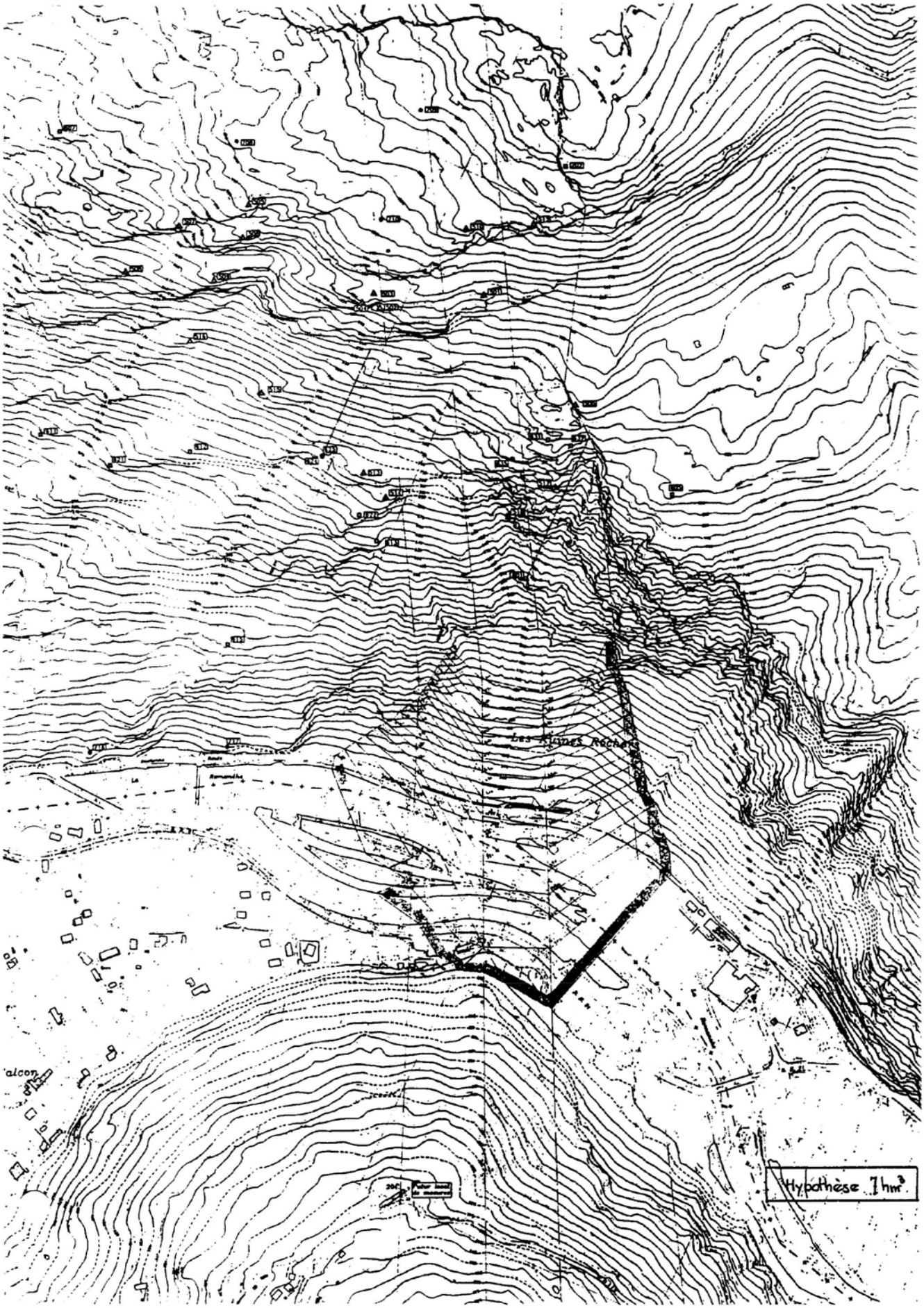
D'une manière générale, des résultats intéressants ont été obtenus sur les différents axes de recherche du projet. Les travaux correspondants sont en grande partie achevés. C'est le cas notamment pour l'étude des possibilités d'adaptation des modèles d'avalanches de neige dans le domaines des avalanches rocheuses ou l'étude comparative de sites de grands éboulements.

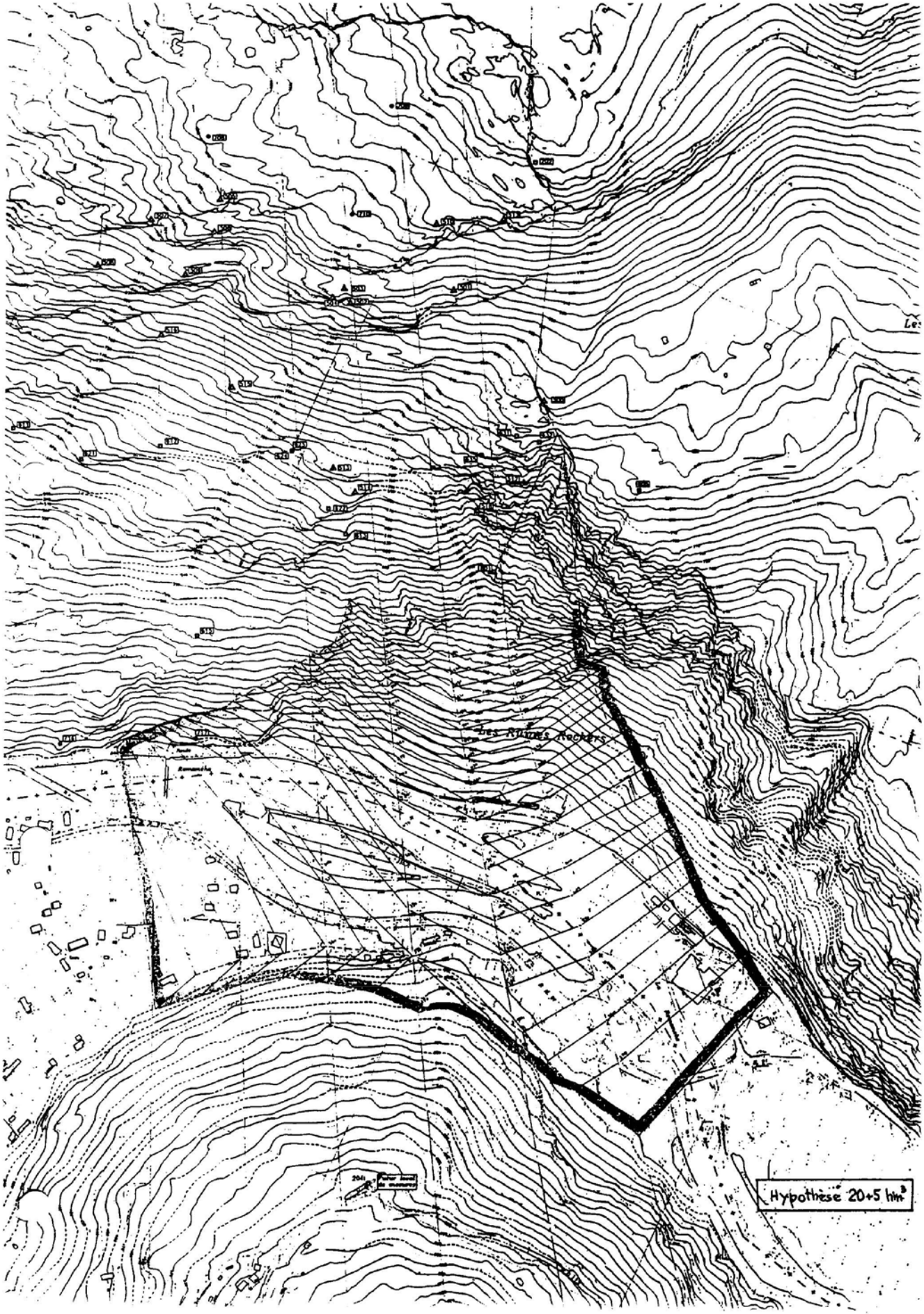
Dans d'autres domaines les travaux sont en cours d'achèvement dans le cadre de thèses actuelles. Sur certains points, la nécessité de progresser davantage dans la compréhension des phénomènes a conduit à infléchir dans ce sens les études effectuées dans le cadre du projet. C'est le cas notamment pour l'étude du site de Séchilienne pour laquelle l'accent a été porté prioritairement sur un complément de l'analyse des données structurales en vue d'une interprétation plus précise des mécanismes de rupture et des caractéristiques de fracturation. C'est le cas également pour l'application des études relatives aux écoulements granulaires pour l'amélioration des outils de modélisation des éboulements en grande masse.

Lyon, le 23 Octobre 1998

L.ROCHET




Les Aynes Rochers
Hypothèse 1 hm³


Les Rochers
Hypothèse 20+5 hm³