Etude des mouvements d'un versant rocheux potentiellement instable par l'analyse de leur causes. Cas des "Rochers de Valabres" (vallée de la Tinée, Alpes-Maritimes)

Yann Gunzburger

▶ **To cite this version:**

Yann Gunzburger. Etude des mouvements d'un versant rocheux potentiellement instable par l'analyse de leur causes. Cas des "Rochers de Valabres" (vallée de la Tinée, Alpes-Maritimes). 22. Rencontres universitaires de génie civil, Jun 2004, Marne-La-Vallée, France. pp.NC. ineris-00972456

HAL Id: ineris-00972456

https://ineris.hal.science/ineris-00972456

Submitted on 3 Apr 2014

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Etude des mouvements d'un versant rocheux potentiellement instable par l'analyse de leurs causes - Cas des « Rochers de Valabres » (Vallée de la Tinée, Alpes-Maritimes)

Yann Gunzburger[1]

[1]*LAEGO-INERIS- Ecole Nationale Supérieure des Mines de Nancy, Parc de Saurupt, 54042 Nancy cédex*

RESUME. Afin de mieux comprendre les mécanismes sous-jacents aux mouvements des versants rocheux, on propose d'en analyser les causes possibles en distinguant les facteurs de prédisposition, les facteurs préparatoires et les facteurs déclencheurs. On montre ici, en ce qui concerne le rôle de la fracturation initiale et des fluctuations thermiques de surface, quelles peuvent être les méthodes adaptées pour en mettre en évidence les manifestations. Cette démarche est appliquée au versant des Rochers de Valabres (Alpes-Maritimes), qui a été le siège d'un important éboulement en mai 2000.

MOTS-CLÉS : Versant rocheux, Auscultation, Modélisation

ABSTRACT. Rock slope movements can be considered, from a mechanical standpoint, as the consequence of predisposition, preparation and trigger factors. In the case study of the "Rochers de Valabres" slope (Southern French Alps), which experienced a major rock fall in 2000, these factors are analysed by means of field observations, high-precision geodetic monitoring and acoustic emissions monitoring, as well as by numerical modelling. This paper places special emphasis on the role of both the fracture network and thermal effects.

KEYWORDS : Rock slope, Monitoring, Modelling

1. INTRODUCTION : LES MOUVEMENTS DE VERSANT ET LEURS CAUSES

Le terme « *mouvements de versant* » regroupe des phénomènes extrêmement variés (glissements de terrains meubles, reptations superficielles, éboulements...) et implique des disciplines et des approches multiples, allant des plus traditionnelles aux plus techniquement exigeantes et des plus naturalistes aux plus abstraites. On peut en particulier distinguer les *approches extensives* qui s'intéressent à des zones géographiquement étendues (travail de cartographie par exemple) et les *approches intensives* qui se concentrent sur un seul mouvement de versant. Parmi ces dernières, les phénomènes impliquant des volumes limités sont essentiellement gérés par les bureaux d'étude et les services techniques de l'Etat, dont la vocation est *opérationnelle :* ils ont pour préoccupation la mise en sécurité immédiate des lieux et procèdent donc à une élimination du risque en contenant les mouvements, en supprimant la masse mobile, en protégeant ou en écartant les cibles potentielles. De telles actions ne sont pas toujours possibles : lorsque des volumes importants sont mobilisés, une approche à *vocation phénoménologique* est essentielle. Il s'agit alors -autant que faire se peut dans les délais imposés par le caractère urgent éventuel- de cerner le comportement du versant au travers de la compréhension des phénomènes et des mécanismes en jeu afin d'en prévoir l'évolution et la survenue de crises éventuelles. Ceci suppose une connaissance des causes des mouvements.

D'un point de vue mécanique, les mouvements de versant prennent naissance sous l'action conjointe d'une force motrice permanente (le poids des terrains) et de sollicitations multiples plus ou moins temporaires. Celles-ci interviennent parfois sporadiquement, ce qui explique la succession de phases d'*initiation* (pendant laquelle les mouvements paraissent bien souvent anodins), de *paroxysme* et de *stabilisation.* Parmi les causes possibles des mouvements, il convient de distinguer, en fonction de la durée de leur action, les *facteurs préparatoires* qui agissent sur de (très) longues périodes de temps en préparant une crise future et les *facteurs déclencheurs* qui interviennent juste avant cette crise et en constituent la source la plus immédiate (Julian *et al.*, 1996). En outre, des *facteurs de prédisposition* permettent d'expliquer que certains versants soient, par leur nature même, plus propices que d'autres à la survenue de mouvements.

Cet article vise à montrer que, dans le cadre d'une approche phénoménologique, les mouvements de versant peuvent être abordés en partant de facteurs qui sont susceptibles d'en constituer la (les) cause(s) et en cherchant à caractériser leur rôle par des moyens appropriés. Afin de développer cette méthodologie, il était nécessaire de disposer d'un versant manifestant des mouvements mais ne présentant pas de menace immédiate, afin que l'accent puisse être mis sur les investigations d'ordre phénoménologique à long terme plus que sur l'intervention dans l'urgence d'une situation de crise.

2. LE VERSANT DES « ROCHERS DE VALABRES »

La vallée de la Tinée, affluent du Var, est l'une des grandes vallées des Alpes-Maritimes. Elle n'est desservie que par un seul axe de circulation : la route départementale 2205 qui assure la jonction avec la Côte d'Azur. Entre les villages d'Isola et de Saint-Sauveur-sur-Tinée cette route traverse un étranglement taillé par la rivière et les glaciers quaternaires dans les gneiss migmatitiques et connu sous le nom de « Gorges de Valabres ». Elle y est surplombé de plus de 1000 m, en rive gauche, par un versant imposant : les Rochers de Valabres. A cet endroit, la route enjambe la Tinée par un pont.

Dans l'après-midi du 13 mai 2000, un éboulement de 2000 m^3 environ, provoqué par un glissement plan provenant des Rochers de Valabres, a détruit une travée du pont, nécessitant une interruption totale du trafic routier pendant plusieurs semaines. Des travaux de sécurisation importants ont été nécessaires (pose d'ancrages passifs, de filets pare-blocs et dynamitage des masses rocheuses les plus menaçantes) pour permettre le rétablissement de la circulation. Ces travaux ont permis d'attirer l'attention sur des éléments laissant imaginer la possibilité d'autres éboulements (en particulier un réseau de fractures ouvertes très étendues à fort pendage vers la vallée).

Ces caractéristiques ainsi que certains aspects techniques (tels que la facilité d'accès au versant au moyen d'un route désaffectée) nous ont conduit, en collaboration avec le laboratoire Géosciences Azur (CNRS-Université de Nice), à choisir les « Rochers de Valabres » comme *site expérimental* pour notre étude.

3. LA GEOMETRIE DU RESEAU DE FRACTURES COMME FACTEUR DE PREDISPOSITION

3.1. CARACTERISATION GEOMETRIQUE MULTI-ECHELLE DU RESEAU DE FRACTURES

Afin de caractériser la géométrie tridimensionnelle du massif rocheux, une analyse de la fracturation à différentes échelles a été réalisée en parallèle des levés topographiques de surface :

- A l'échelle de **l'affleurement,** nous avons procédé à des relevés de discontinuités à la boussole selon des lignes de mesures d'orientation variable, à la fois sur le front de falaise et dans des galeries hydroélectriques EDF situées à proximité de la zone étudiée. Différentes familles de fractures, différenciées par leurs orientations, on ainsi été mises en évidence : i) des discontinuités **sub-verticales** dont l'azimut est très variable, ii) des discontinuités **aval-pendage** d'azimut parallèle aux gorges (parmi lesquelles celles impliquées dans le glissement plan du 13 mai 2000) et iii) des discontinuités d'azimut parallèle aux gorges à pendage vers l'intérieur du massif. La description statistique du réseau de discontinuités ainsi obtenue est complété par des descriptions déterministes à plus large échelle.
- A l'échelle du versant, un travail de photo-interprétation réalisé sur différentes vues de face du versant a conduit à repérer les traces, dans sa morphologie, des familles de discontinuités décrites plus haut. Celles-ci se manifestent en surface par l'orientation régulière des « dalles », des surplombs et des vallons situés de part et d'autre de la zone étudiée.
- Enfin, à l'échelle des Gorges de Valabres dans leur ensemble, nous avons également procédé à une photo-interprétation sur la base des photographies aériennes de **l'IGN.**

3.2. CALCULS DE STABILITE A L'EQUILIBRE LIMITE

Afin de voir quel rôle jouent les différentes familles de discontinuités dans les mécanismes de déformation de la falaise des Rochers de Valabres –et donc dans les événements catastrophiques qui en constituent le paroxysme-, nous avons réalisé un *calcul à **l'équilibre** limite* avec le logiciel RESOBLOK, un outil intégré de modélisation par blocs (Heliot, 1988). Le massif rocheux y est considéré comme un assemblage de blocs indéformables séparés par des discontinuités. Les blocs situés au voisinage d'une surface libre sont susceptibles de se déplacer vers l'extérieur du massif, entraînant éventuellement par la suite le déplacement d'autres blocs situés plus en profondeur. A une itération donnée du calcul, l'algorithme utilisé pour savoir si un bloc possédant un bord libre est *stable* (en équilibre) ou *instable* (en déséquilibre) se décompose en deux parties : l'évaluation géométrique de la « *déplaçabilité* » du bloc et, lorsque le bloc est « *géométriquement déplaçable* », l'évaluation mécanique à l'équilibre limite de sa *stabilité* au moyen du calcul d'un coefficient de sécurité.

Faute d'informations suffisamment précises sur la géométrie déterministe détaillée du secteur le plus menaçant des Rochers de Valabres, nous en avons abordé la modélisation à une échelle large (celle du versant dans son ensemble) et avec un réseau statistique de fractures. Ainsi la topographie du font de falaise a-t-elle été assimilée à un plan moyen déterminé par interpolation linéaire à partir de point repérés sur la carte topographique. De même, le réseau de fractures a été généré aléatoirement à partir des statistiques obtenues en compilant les relevés linéaires *in situ* à la boussole. Puisque la géométrie du modèle est stochastique, les résultats des calculs doivent être envisagés de manière également statistique. De ce fait, on ne s'intéresse pas en détail aux blocs instables, mais plutôt à la répartition des ces blocs selon les différents mécanismes de déplacement que sont la *chute **libre,*** le *glissement**plan,*** le *glissement dièdre* (i.e. sur 2 plans simultanément) et le glissement sur n plans avec n>2.

Les résultats montrent que les glissements plans selon les discontinuités à pendage vers la vallée constituent l'essentiel des causes de déstabilisation du massif. En ce sens, le réseau de discontinuités joue le rôle **de** *facteur de prédisposition* aux éboulements : il favorise la manifestation des instabilités

sans en constituer ni une *cause **nécessaire**,* ni une *cause suffisante* puisque des effets mécaniques non pris en compte ici pourraient augmenter la « mobilité » des blocs qualifiés ici de « stables », ou au contraire restreindre les mouvements des blocs « instables ». En effet, les calculs à l'équilibre limite ne permettent pas de considérer l'état de contraintes complexe dans le massif rocheux ni le comportement de la roche et des discontinuités. Ils permettent cependant, par la rapidité des calculs, de faire un premier diagnostic des situations « à risque » qui doivent être étudiées par un calcul plus détaillé. Il faut notamment s'assurer que les blocs « stables » d'après **RESOBLOK** le sont effectivement et voir dans quelle mesure les blocs « instables » peuvent éventuellement évoluer en éboulements. Ce second point est abordé en ce qui concerne le rôle des fluctuations thermiques dans la préparation des événements catastrophiques.

Si le rôle joué par les variations de températures commence à être relativement bien connu dans le cas des ouvrages souterrains tels que les sites de stockage de déchets radioactifs (Rejeb *et al.*, 1990), il est en revanche bien peu étudié dans le domaine des mouvements de versant, dans lequel ces variations existent pourtant de manière évidente, sous l'action des changements de température de l'air et des conditions d'ensoleillement, à l'échelle de la journée comme de l'année. Nous avons cherché à appréhender les phénomènes connexes par un calcul en contraintes-déformations réalisé avec le logiciel commercial **UDEC,** ainsi que par des mesures de déplacement.

4. LES FLUCTUATIONS THERMIQUES SUPERFICIELLES COMME FACTEUR PREPARATOIRE

4.1. APPROCHE PAR LA MODELISATION EN CONTRAINTES-DEFORMATIONS

Dans le code UDEC, les calculs thermomécaniques sont effectués de manière dissociée : la propagation de la chaleur dans le massif rocheux par conduction et le calcul des effets des déformations thermiques induites sur l'équilibre mécanique sont évaluées séparément. (L'action des variations mécaniques sur la température est négligée.) Dans la pratique, le code réalise un enchaînement automatique de cycles thermiques et de cycles mécaniques. Il appartient à l'utilisateur de définir les conditions de cet enchaînement afin de garantir le bon déroulement des calculs. Nous nous plaçons dans l'hypothèse d'un *régime mécanique pseudo-statique :* on admet que la vitesse de propagation des « effets thermiques » est faible devant la vitesse de propagation des « effets mécaniques ». De ce fait, l'évolution mécanique du système se fait *via* une succession d'états d'équilibre mécanique. Numériquement, on s'assure donc, après le déroulement de quelques cycles thermiques, d'effectuer suffisamment de cycles mécaniques pour que cet équilibre s'établisse *(relaxation).* C'est alors seulement qu'on peut passer aux itérations thermiques suivantes.

Afin d'évaluer « en aveugle » l'ordre de grandeur des déplacements potentiellement induits par les effets thermomécaniques (pour **dimensionner** le système de mesure destiné à les mettre en évidence), nous avons opté pour l'étude d'un modèle conceptuel simple : un bloc triangulaire posé sur un plan incliné (Figure 1). Afin de traduire réchauffement par le soleil, on impose sur la face **frontale** du bloc une variation de température en créneaux sous la forme d'une condition aux limites thermique. Les caractéristiques thermomécaniques utilisées sont : densité = 2.7, module de Young = 20.7 GPa, coefficient de Poisson = 0.24, conductivité thermique = 2.95 W/m.K, **coefficient** de dilatation thermique = 7.10^{-6} K^{-1}, capacité calorifique massique = 836 **J/kg.K,** raideur normale = 50 **GPa/m** et raideur tangentielle = 5 **GPa/m.** (La température initiale de la roche est de **15°C.)**

Dans un premier temps, on a procédé à un calcul thermo-élastique. En suivant au cours du temps le déplacement des 3 coins du bloc on peut noter que, sous l'effet des variations de température, le bloc se déforme (Figure 2, à gauche) puis retrouve presque intégralement sa forme initiale. Le léger écart observable après 5h de chauffage puis 15h de refroidissement est expliqué par le fait que la température moyenne du bloc à la fin du calcul est légèrement supérieure à sa température initiale. (Une succession de sollicitations thermiques en créneaux telles que celle que nous avons utilisée conduirait à un échauffement d'ensemble, lent mais continu, de la roche.)

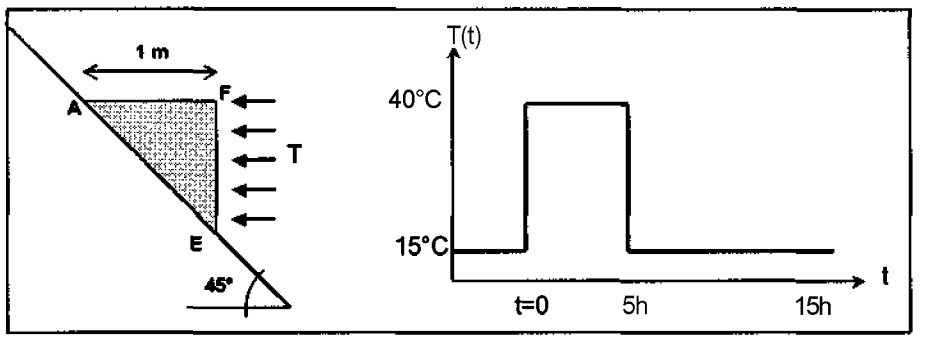
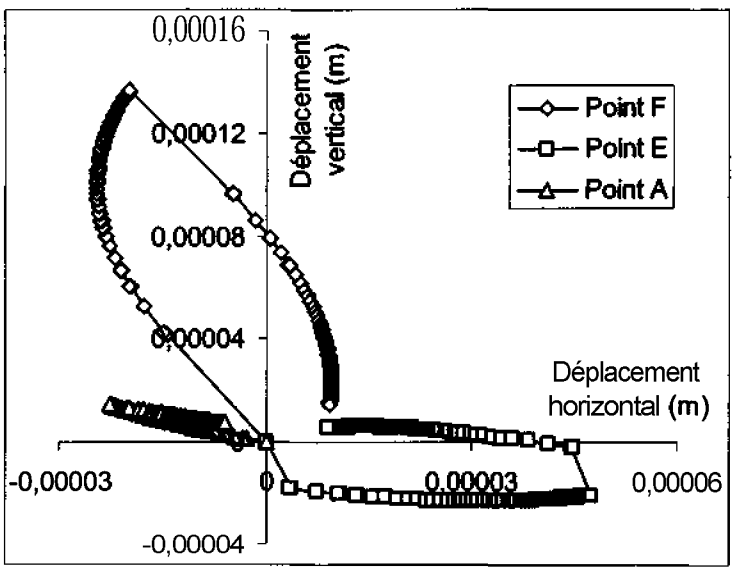


Figure 1 : Géométrie du modèle thermo-mécanique et sollicitation thermique appliquée.



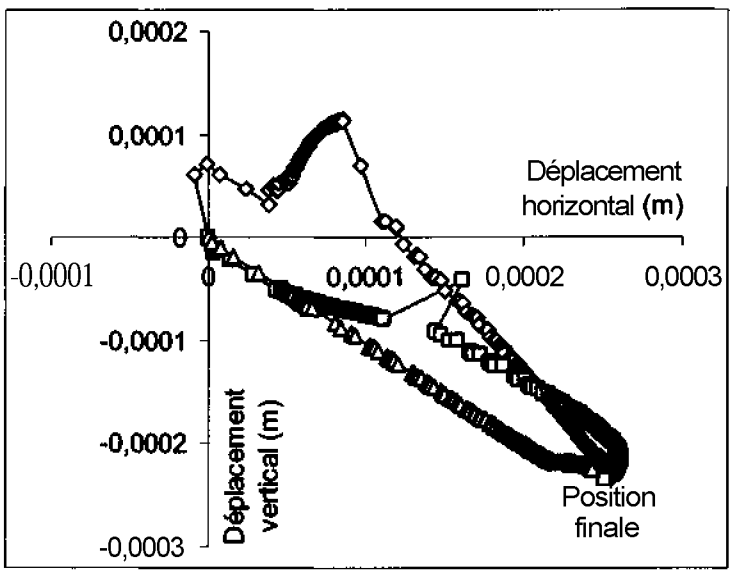


Figure 2 : Trajectoires des coins du ***bloc*** *pas rapport à leur position initiale au cours d'un cycle chauffage + **refroidissment** (à gauche : calcul thermoélastique ; à droite : calcul thermoplastique).*

Dans un second temps, un calcul thermo-plastique a été réalisé. Dans celui-ci, la matrice rocheuse est toujours considérée comme élastique, mais le joint de base peut se **plastifier.** Le critère de plasticité est tel qu'en l'absence de sollicitations thermiques, le joint ne subisse pas de rupture une fois effectuée la phase de consolidation élastique : cohésion = 2 MPa, angle de frottement = 45° et résistance en traction = 1.7 MPa. Cette fois-ci, le suivi du déplacement des coins (Figure 2, à droite) montre, outre une déformation presque totalement réversible du bloc (comme précédemment), l'existence d'un déplacement d'ensemble de celui-ci vers le bas, parallèlement au plan incliné, de l'ordre de 0.35 mm. Une analyse plus poussée montre que ce déplacement est dû à la rupture du joint de base sous l'effet d'efforts de traction induits par réchauffement : ce dernier provoque un bombement du bloc sur le plan incliné qui le supporte. Ainsi, une répétition de cycles thermiques peut-elle induire une « *reptation* » du bloc le long du plan incliné. Un tel mouvement, s'il existe réellement, est de nature à déstabiliser le massif rocheux par l'ouverture progressive de fissures et la déstructuration des assemblages de blocs. Certes, ce phénomène doit être étudié de manière plus approfondie et confronté

aux données de terrain, mais il permet d'ores et déjà de supposer que les variations thermiques répétées (à l'échelle de la journée dans notre cas) sont susceptibles de jouer le rôle de *facteur préparatoire* aux instabilités.

4.2. *ESSAI DE QUANTIFICATION DES EFFETS THERMO-MECANIQUES PAR A USCULTATION GEODESIQUE*

Le suivi cinématique de surface est probablement la technique d'auscultation des mouvements de versant la plus répandue. Il en existe de nombreuses formes différentes. Les méthodes de mesure ponctuelle (GPS, géodésie, **extensométrie…**) étant globalement plus précises que les méthodes à haut échantillonnage spatial **(interférométrie, photogrammétrie…)** (Malet *et al.*, 2002), c'est vers les premières que notre choix s'est orienté lorsqu'il s'est agit de chercher à évaluer l'importance des effets thermomécaniques *in situ.* L'encaissement des gorges rendant aléatoire l'utilisation du GPS, nous nous sommes tournés vers les techniques d'auscultation géodésiques haute-précision qui présentent, par rapport aux autres méthodes ponctuelles, l'avantage d'être facilement modulables. (Un déplacement des prismes suffît.) C'est ainsi que nous avons eu recours au tachéomètre TDA 5005 Leica, qui conjugue un dispositif électro-optique laser pour les mesures des distances et un théodolite électronique pour les mesure angulaires (Milles *et al.*, 2000) . Celui-ci a été installé au pied du versant faisant face aux Rochers de Valabres et un semi de 10 prismes réflecteurs a été mis en place sur la falaise, de manière à couvrir la plus grande zone possible. En guise de test, une première auscultation géodésique sur 24 heures a été réalisée à la faveur de deux très belles journées d'été, avec un ensoleillement maximal, en juillet 2003.

Grâce au système de *tracking,* le tachéomètre détermine automatiquement chaque heure la position des 10 prismes. Les mesures réalisées ne sont pas exactes, mais entachées d'erreurs. Parmi celles-ci, les *erreurs aléatoires* (variables en signe et en amplitude dans des conditions identiques) ne peuvent être évitées mais sont combattues par la répétition des mesures et par des considérations statistiques (calcul de moyennes). A l'opposé, les *erreurs systématiques* restent sensiblement les mêmes dans des conditions de mesure identiques et peuvent s'accumuler lors de mesures enchaînées jusqu'à produire des inexactitudes très importantes. Nous avons donc cherché à les éliminer en utilisant des méthodes de corrections appropriées :

- Les erreurs *internes* dues aux défauts géométriques du tachéomètre affectent les mesures angulaires. Leur amplitude n'est pas connue, mais elles sont classiquement éliminées par la méthode du *double retournement* qui consiste à toujours réaliser les mesures par couple, la seconde mesure étant effectuée après un basculement simultané de la lunette de **180°** autour des axes horizontaux et verticaux.
- Les erreurs *externes* dues à la **modification** de la longueur d'onde du laser lors de son parcours dans l'air affectent uniquement les mesures de distance. Elles sont corrigées en utilisant un coefficient calculé à partir de la température et de la pression de l'air.
- Les erreurs *externes* dues à la stratification horizontale de l'air affectent presque exclusivement les mesures d'angle vertical. Elles sont liées à l'incurvation du faisceau laser vers le sol **(«** effet de mirage **»).** Ces erreurs sont corrigées en utilisant un coefficient empirique connu sous le nom de *module de réfraction atmosphérique* **(MRA),** évoluant au cours de la journée et dont la valeur approximative peut être trouvée dans un abaque.

Le dépouillement des mesures issues de l'auscultation **tachéométrique** constitue une tâche longue et fastidieuse, qu'il est impossible de détailler ici. On considère qu'après application des corrections précitées, les erreurs systématiques sont éliminées en quasi-totalité. La précision de notre dispositif de mesure est alors estimée à **0.12** mgon sur les mesures angulaires et 0.08 mm sur les mesures de distances. Ces précisions n'ont malheureusement pas pu être vérifiées, notamment parce que des prismes supposés fixes et qui devaient servir de références se sont avérés inutilisables dans cet objectif. De ce fait, dans l'attente d'une nouvelle auscultation prévue au cours l'hiver 2004, avec un dispositif amélioré, il convient de rester très prudent sur **l'interprétation** des mesures. Celles-ci semblent montrer des mouvements hétérogènes des prismes allant de 0.3 à 1.5 mm, avec une bonne corrélation avec les variations de température, ce qui est en faveur d'une origine **thermomécanique.** En revanche, il n'a pas été possible de mettre en évidence des déplacements irréversibles pour l'instant.

L'hétérogénéité spatiale des mouvements peut être **attribuable** soit à des différences intrinsèques de comportement du massif rocheux d'un point à un autre, soit à des différences dans les sollicitations thermiques. Cette dernière hypothèse a été explorée en calculant l'énergie calorifique solaire reçue au niveau des différents prismes, en fonction de l'orientation des surfaces sur lesquelles les prismes sont fixés par rapport au soleil et la présence ou l'absence de zones ombragées au cours de la journée. Bien que ce calcul comporte de nombreuses hypothèses simplificatrices, il a permis de mettre en lumière une corrélation positive entre l'amplitude l'énergie reçue et l'ampleur des déplacements mesurés, ce qui tend à confirmer le lien entre l'élévation de température due au rayonnement solaire et les mouvements pré-cités. Bien entendu, ces premières interprétations devront être confirmées.

5. APPORTS POSSIBLE DE L'ECOUTE **MICROSISMIQUE**

La **tachéométrie** étant une technique d'auscultation ponctuelle, sa réussite est intimement liée au bon positionnement des prismes. C'est pourquoi nous avons choisi de la compléter par une technique moins locale : l'auscultation microsismique.

La sismicité résulte de la relaxation brutale de l'énergie élastique emmagasinée dans un massif rocheux lors de la nucléation, de la propagation ou de la réactivation d'une **fracture.** A la différence des **(macro-)séimes,** les micro-séismes résultent des mouvements plus brefs et plus localisés. Afin de détecter ces mouvements, différents procédés d'auscultation et de surveillance par écoute micro-sismique ont déjà fait leurs preuves dans plusieurs domaines, tels que l'exploitation de mines de charbon profondes, la géothermie et l'extraction des hydrocarbures. L'application aux versants rocheux potentiellement instables est plus récente, mais montre déjà des résultats prometteurs (Senfaute *et al.*, 2003 ; Ishida *et al.*, **2001).**

Un réseau d'écoute **micro-sismique** composé de 4 géophones et d'un accéléromètre tri-dimensionnel est opérationnel sur les Rochers de Valabres depuis août 2003. Une activité **sismique** significative a été enregistrée depuis le démarrage de l'écoute. Deux types principaux d'enregistrements ont été obtenus: i) des enregistrements très basse fréquence (< 60 Hz) correspondant aux (macro-)séismes régionaux répertoriés par les réseaux nationaux de surveillance et ii) des enregistrements micro-sismiques haute fréquence (> 100 Hz), survenant parfois sous forme de salves. Ces mesures n'ayant pas encore pu être confrontées aux autres mesures mécaniques (des clinomètres de surface sont en cours d'installation), il est difficile actuellement de s'assurer que les signaux enregistrés sont bien dus, comme on est tenté de le croire, à des micro-glissements dans le secteur

ausculté. Si tel est le cas, l'auscultation **micro-sismique** pourrait fournir des informations précieuses sur la localisation dans le temps et dans l'espace de tels micro-glissements et en particulier sur les fractures concernées.

6. CONCLUSIONS

Nous avons montré que l'utilisation conjointe de plusieurs méthodes d'investigation peut permettre d'analyser les causes des mouvements de versant. Ces méthodes donne accès à une **caractérisation** de l'état du versant à un instant donné (cas des observation de terrain, par exemple) ou de son évolution entre deux instants (cas de l'auscultation). Plusieurs causes de mouvements ont été identifiées, parmi lesquelles la géométrie du réseau de discontinuités et les fluctuations thermiques de surfaces. D'autres causes, connues par ailleurs, ne sont pour l'instant que pressenties sur les Rochers de Valabres : les éventuelles mises en charge hydrauliques et les (macro-)séismes.

Les résultats obtenus nécessitent bien entendu d'être consolidés. En particulier : i) les modèles numériques doivent être améliorés afin de ne plus prendre en compte que les phénomènes, mais également les particularités géométriques locales, ii) le dispositif d'auscultation **tachéométrique** doit être revu pour augmenter la fiabilité des mesures et iii) l'écoute micro-sismique doit être couplée à d'autres mesures afin de confirmer l'origine micro-sismique interne des enregistrements.

Par ailleurs, il convient de ne pas négliger les potentialités offertes par l'équipement progressif du site expérimental, laboratoire « grandeur nature », sur lequel il est possible de tester et de comparer les apports de techniques d'investigations très différentes (Follacci, 1999). Le système de mesure actuel va ainsi être complété par l'installation d'un ensemble de **clinomètres** haute résolution et d'une station météorologique numérique avec enregistrement continu.

7. BIBLIOGRAPHIE

Follacci **J.-P.** (1999), « Seize ans de surveillance du glissement de la Clapière (Alpes-Maritimes) », *Bull. Liaison Labo. P. & **Ch**,* 220, **35-51**

Heliot D. (1988), « Generating a blocky rock mass », *Int. J. **Rock Mech.** Min. **Sci.**,* 25, 3, 127-138.

Ishida T., Nishikawa T., **Tanaka M.,** Shiotani, T. (2001), « Acoustic emission monitoring for an unstable rock mass left after slope failure », ***Rockbursts** and **Seismicity** in Mines,* South African Institue of Mining and Metallurgy, 29-32.

Julian M., Anthony E. **(1996),** « Aspects of landslide activity in the Mercantour Massif and the French Riviera, southeastern France », *Geomorphology,* **15,** 275-289.

Malet **J.-P.,** Maquaire O., Calais E. (2002), « The use of Global Positioning System techniques for the continuous monitoring of landslides: application to the Super-Sauze **earthflow (Alpes-de-Haute-**Provence, France) », *Geomorphology,* 43, 33-54.

Milles **S., Lagofun** J. (2000), *Topographie et topométries modernes,* Ed. Eyrolles.

Rejeb A., Vouille G., Derlich S. (1990), **« Modélisation** du comportement thermomécanique d'un massif granitique - Application à la simulation de l'expérience **THM** de Fanay-Augères », *Rev. Franc. **Géotech.**,* **53, 21-31.**

Senfaute **G., Merrien-Soukatchoff V.,** Morel **J., Gourry** J.-C. (2003), « Microseismic monitoring applied to prediction of chalk sides collapses and contribution of numerical modelling », *Proc. Intern. Conf. on fast slope movements,* Naples (Italie), **11-13** Mai 2003, Luciano **Picarelli,** Patron editore, Bologne (Italie).