

Ouvrage collectif réalisé par

**CLUSTERS  
DE RECHERCHE**

**RHÔNE-ALPES  
ENVIRONNEMENT**

# Rhône-Alpes et l'environnement

100 questions pour la recherche

Rhône-Alpes <sup>Région</sup>





CHAPITRE **A**  
LES RISQUES  
NATURELS

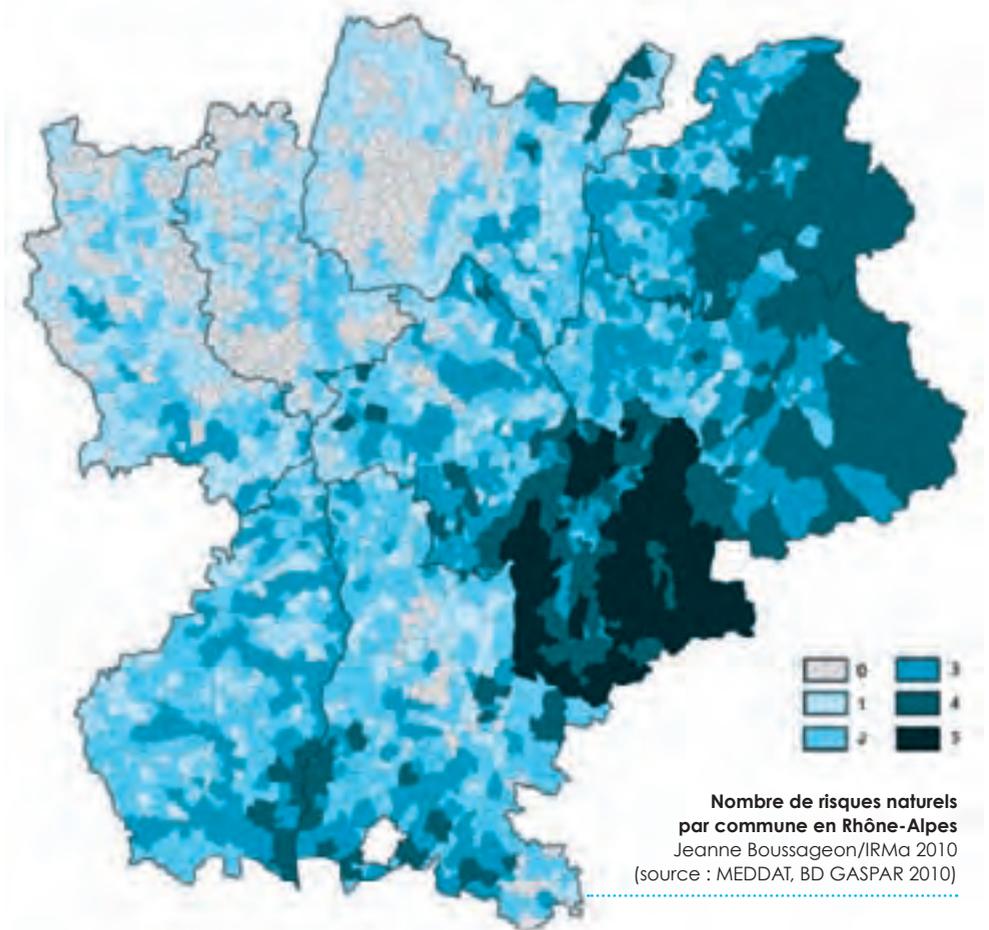


## introduction

# Les risques naturels :

## un sujet majeur en région Rhône-Alpes

Hormis le risque volcanique, tous les risques naturels sont présents dans la région Rhône-Alpes. Traversée par la Loire, le Rhône ou encore l'Isère, dominée par les hauts sommets des massifs des Écrins, de la Vanoise et du Mont-Blanc, la région Rhône-Alpes est, du fait de la nature des territoires qui la composent, fortement soumise aux risques naturels : crues lentes de plaine, crues rapides des torrents, glissements de terrain, éboulements, incendies de forêts, avalanches ou séismes, pluies extrêmes et ruissellement urbain, étiages sévères et sécheresses... Une analyse réalisée par l'Institut des Risques Majeurs à Grenoble permet d'établir une cartographie régionale du nombre de risques naturels par commune :



Comme on le constate, plus de 90 % des communes sont touchées, et plus de 7 500 arrêtés de catastrophe naturelle ont été pris depuis 1982.

Face à cette situation, la société s'organise. Ainsi, plus de 970 communes sont concernées par au moins un Plan de Prévention des Risques naturels et près de 325 Plans Communaux de Sauvegarde ont été réalisés. Par ailleurs, l'importance des enjeux conduit experts et chercheurs à s'investir sur ce sujet dans deux directions principales : la prévision, qui permet notamment de prendre des mesures d'urgence dans les jours ou les heures précédant une situation à risque afin de protéger les populations ou de minimiser les dommages, et la

prévention, qui concerne toute mesure anticipée permettant d'éviter qu'une situation à risque ne survienne. La prévention concerne aussi bien la gestion du territoire que la conception d'ouvrages de protection.

De nombreux laboratoires et organismes à Chambéry, Grenoble et Lyon participent à cet effort de recherche et leurs travaux concernent principalement :

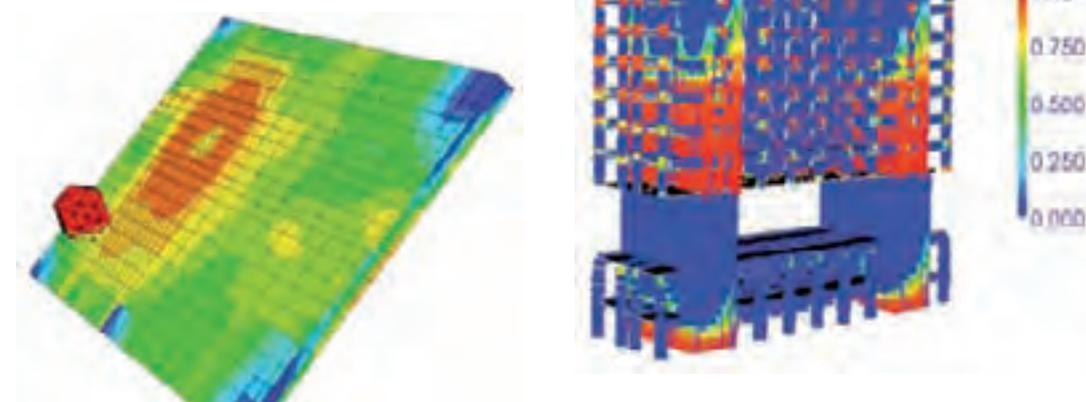
- la mise au point de moyens de mesure faisant appel aux technologies les plus récentes (radar, scanner, propagation d'ondes, imagerie haute résolution par drone...) pour analyser de manière prévisible ou préventive les situations locales, par exemple dans les cas de risques liés aux glissements de terrain ou aux écroulements rocheux ; de ces moyens découle la mise au point de systèmes de surveillance utilisés notamment dans le glissement des ruines de Séchillienne ;
- la mise au point d'outils numériques permettant de décrire en amont l'étendue des conséquences d'un phénomène particulier (crue, séisme, avalanche, éboulement, érosion de berges...),
- la connaissance des phénomènes, appelés dans le jargon des chercheurs « aléas » pour marquer un caractère aléatoire qui fait toute la difficulté de la prévision et notamment leur intégration dans un contexte évolutif en lien avec l'histoire environnementale (évolution de l'occupation des sols, évolution climatique, modification de la géométrie des plaines alluviales...),
- le traitement de la protection par des travaux en relation avec la construction d'ouvrages spécifiques (galerie paravalanche ou pare-blocs, ouvrage hydraulique, construction parasismique, piège à corps flottants...),
- l'intégration de la gestion du risque dans la gestion du territoire afin d'aborder les problèmes de manière intégrée et non plus sectorielle, en privilégiant les mesures de prévention passives aux mesures de prévention actives, en limitant l'impact environnemental des ouvrages de protection, en prévenant les situations à risques par un aménagement du territoire durable et concerté (citons à ce titre la gestion sectorisée de la végétation riveraine ou la définition de l'espace de liberté des cours d'eau).
- le traitement de la crise dans une situation de catastrophe qui touche à l'organisation des secours, mais aussi la mise en œuvre des moyens d'information conçus après analyse de la perception des processus d'alerte par les populations.



Exemple de moyen de mesure utilisé pour étudier les risques naturels : drone Drelio, Pascal Allemand/UCBL

Les solutions préconisées pour protéger les populations soumises à des risques naturels ont évolué ces dernières années. On dispose aujourd'hui d'une palette de solutions dont les avantages et inconvénients sont évalués minutieusement afin d'identifier celles qui sont les plus adaptées à la situation locale et qui intègrent non seulement le risque lui-même, mais aussi d'autres enjeux (conservation des milieux, scénarios de développement). Le risque n'est plus uniquement considéré localement, mais plus globalement suite à la loi sur les risques naturels et technologiques de juillet 2003. D'une logique d'intervention ponctuelle, souvent au coup par coup, sans dynamique globale et sans concertation, les solutions retenues prennent davantage en compte la longue durée, le contexte plus large, notamment le bassin versant lorsqu'il s'agit de gérer les inondations, les excès sédimentaires ou les situations de déficit hydrique. Gérer l'inondation dans un secteur donné, c'est parfois agir plusieurs dizaines de kilomètres en amont. Ces logiques sont largement mises en œuvre dans les villes pour gérer la dérégulation hydrologique liée à l'urbanisation et le ruissellement urbain. À ce titre, les actions de protection sont aujourd'hui « intégrées » dans le cadre d'une démarche concertée, qui se veut durable et qui concilie protection des biens et des personnes et préservation de l'environnement (développement de techniques alternatives, recherche de solutions minimisant les impacts environnementaux de certaines actions protectrices, actions préventives).

Exemple de modélisations numériques réalisées pour l'analyse de la vulnérabilité (en rouge sont figurées les zones endommagées – J. Mazars et al. laboratoire 3S-R Grenoble) : à gauche, comportement d'une maquette d'ouvrage de protection en béton armé sous l'effet d'une chute de bloc à forte énergie, à droite, bâtiment existant après un séisme de magnitude élevée.



Les fiches qui suivent décrivent, sur une sélection de thèmes, des travaux réalisés ou en cours de réalisation qui ont fait l'objet de soutiens régionaux, notamment dans le cadre du Cluster Environnement. Sont tour à tour présentés les risques affectant les versants, les glissements de terrain, les séismes, les chutes de blocs, les avalanches, les risques affectant les fonds de vallée, les crues torrentielles, la question des bois flottés et des sédiments fluviaux, les inondations, puis des risques plus diffus qui peuvent toucher toute la région, tels les pluies intenses. Quelles actions entreprendre lorsque la crise se profile ? Là encore, des chercheurs s'activent pour trouver les meilleures solutions pour alerter les populations, voire gérer la catastrophe lorsque celle-ci survient.

**EN SAVOIR +**  
[www.irma-grenoble.com](http://www.irma-grenoble.com)



# Le sol bouge, les chercheurs veillent

Les mouvements de terrain sont des phénomènes naturels affectant les pentes constituées de sols ou de matériaux rocheux et caractérisés par une grande variété de tailles, de formes et de vitesses de déplacement. Certains mouvements lents peuvent présenter des phases d'accélération sous l'effet d'agents déclenchants (pluie, fonte des neiges, séismes, action humaine), conduisant à des mouvements gravitaires très rapides, de type avalanche rocheuse ou coulée dans les sols. Ces phénomènes présentent un danger potentiel important pour les populations et les infrastructures. À l'heure actuelle, les chercheurs sont confrontés à un problème de manque de données détaillées et fiables sur une période de temps représentative.

## Les mouvements de terrain : un phénomène ancien qui rajeunit sans cesse

De par sa topographie montagneuse et ses caractéristiques géologiques variées, la région Rhône-Alpes est particulièrement exposée au risque de mouvements gravitaires de tous types, comme ceux se produisant dans les sols (argiles du Trièves) ou dans les roches (Séchillienne).

Dans le passé, les mouvements de terrain ont principalement été étudiés au cas par cas, dans le but d'estimer le degré de stabilité et de précociser les mesures éventuelles permettant la stabilisation en cas de danger pour des infrastructures ou des personnes. Or, les études récentes

ont montré qu'un glissement actif était souvent accompagné par d'autres mouvements similaires, récents ou anciens, et que ces instabilités gravitaires pouvaient avoir été initiées il y a des milliers d'années, lors de changements climatiques majeurs, comme la dernière déglaciation. Pour comprendre son mécanisme, un mouvement de terrain doit donc être envisagé comme un phénomène érosif s'étalant sur une longue durée, avec des périodes d'activité et de sommeil.

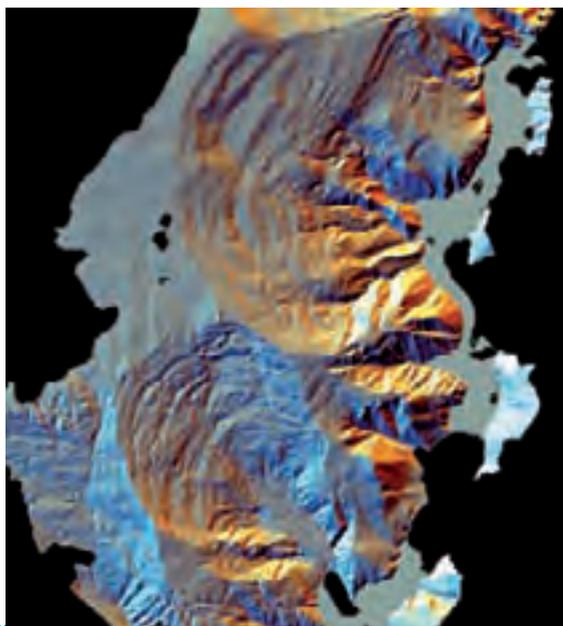
... Eboulement de plusieurs milliers de m<sup>3</sup> sur les Ruines de Séchillienne. De nombreux blocs ont fini leur course au bas des Ruines, sur l'ancienne route nationale.  
© Photothèque IRMa/Sébastien Gominet



## Les Alpes sous surveillance

L'obtention de mesures (géotechniques, hydro-géologiques, géodésiques, géophysiques) est indispensable pour débloquer les verrous actuels dans la compréhension des instabilités de versants. Pour répondre à ce besoin, un observatoire national des mouvements de terrain a été créé en 2006. Il comporte quatre sites dont deux situés en région Rhône-Alpes (mouvements d'Avignonet et de Séchillienne). Des instruments de mesure et d'observation déployés sur ces sites devraient permettre d'identifier les paramètres pertinents pour suivre les changements de comportement dans la dynamique des instabilités gravitaires.

Image en fausses couleurs de la topographie de surface des glissements d'Avignonet et L'Harmalière, obtenues par relevé LiDAR hélicoptère – Denis Jongmans/LGIT-UJF



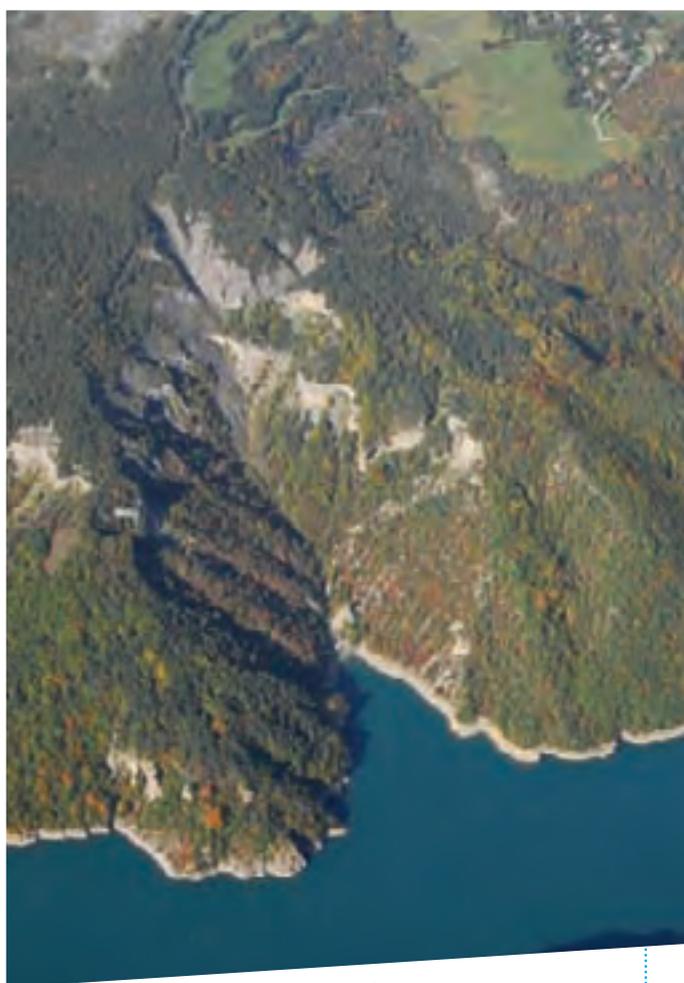
### Mouvement de Séchillienne

Une étude de datation de l'escarpement principal du mouvement de Séchillienne a montré que ce dernier avait été initié il y a environ 7 000 ans, bien après la fin de la dernière glaciation, durant une période climatique humide et pluvieuse. Le suivi temporel géophysique a montré l'existence de trois types de signaux sismiques générés respectivement par le mouvement gravitaire, les séismes locaux et les chutes de blocs.

### Mouvement d'Avignonet

Dans la région du Trièves, des techniques d'imagerie aériennes ont été testées pour suivre l'évolution des déplacements à l'échelle de plusieurs dizaines de km<sup>2</sup>. En particulier, la prise de données LiDAR sur un intervalle de 3 ans a permis de définir et de caractériser les zones actives des glissements d'Avignonet et de l'Harmalière.

Ces travaux ouvrent des perspectives pour la définition d'un nouveau système de surveillance.



Vue aérienne de la Combe du Mas et du glissement de terrain de l'Harmalière  
© Photothèque IRMa/Sébastien Gominet

L'Observatoire Multidisciplinaire des Instabilités de Versants (OMIV) regroupe 6 laboratoires, dont deux en région Rhône-Alpes, et est coordonné par l'Observatoire des Sciences de l'Univers de Grenoble. Les recherches sont valorisées sous la forme d'articles scientifiques et leurs résultats sont présentés sur le site : [www.lgit.obs.ujf-grenoble.fr/observations/omiv/](http://www.lgit.obs.ujf-grenoble.fr/observations/omiv/)



# Les séismes en Rhône-Alpes sont rares...

Les séismes en Rhône-Alpes sont rares... et c'est tant mieux. Il ne faut cependant pas oublier que certains événements importants se sont produits dans le passé. Parce qu'ils sont peu nombreux, les populations perdent le souvenir et la mémoire de ces événements. Pourtant, si l'on considère le passé proche, des séismes marquants se sont produits : le séisme de Lambesc dans le sud des Alpes (1909), le séisme de Corrençon-en-Vercors (1962), ceux de Chamonix en 1905 et 2006, ou encore celui d'Epagny (1996). Ces séismes sont la signature d'une intense activité sismique. Celle-ci sera d'autant plus remarquable que les vallées alpines, omniprésentes sur le territoire de la région Rhône-Alpes, vont amplifier le mouvement sismique du sol, ce qui peut être à l'origine de dégâts plus importants.

## Étudier le risque sismique pour mieux s'en protéger

Dans la mesure où la prévision des séismes semble être hors de portée pour l'instant, la solution pour réduire le risque sismique consiste à se protéger de leurs effets. Construire parasismique est possible, mais pour un dimensionnement juste et économiquement supportable, il faut connaître le mouvement sismique contre lequel se protéger.

Les zones de sismicité doivent être identifiées dans les Alpes. Ces informations, collectées en particulier par les observatoires de surveillance de la sismicité, servent à estimer le niveau d'aléa à prendre en compte pour tout projet neuf. Les sédiments doivent être repérés car ils provoquent l'amplification du mouvement du sol. C'est le cas des vallées alpines, qui produisent ces phénomènes nommés « effets de site ».

Vue aérienne du bassin grenoblois. En cas de séisme, l'effet de site dans la cuvette grenobloise provoquerait une amplification des ondes sismiques.

© Photothèque IRMa/Sébastien Gominet



Enfin, sachant que le plus grand nombre de victimes lors de tremblements de terre est lié à l'effondrement des constructions, il faut comprendre comment ces dernières se comportent. Leurs caractéristiques variables vont impli-

quer des comportements différents d'une ville à l'autre.

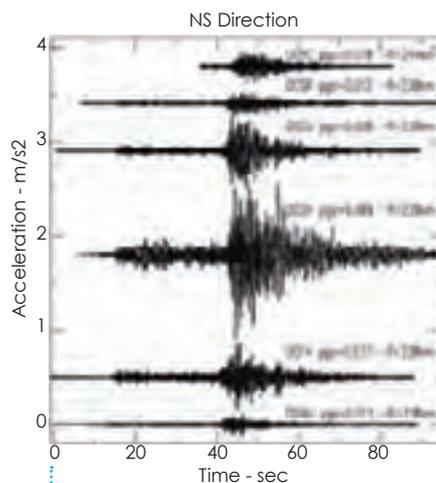
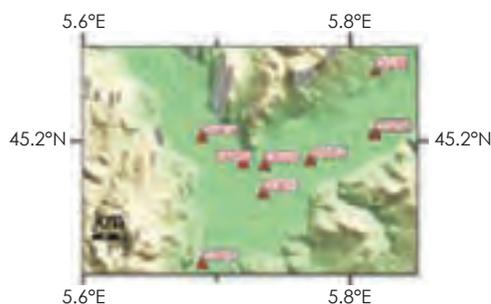
Malgré un niveau de sismicité relativement modéré, ces informations permettent d'affirmer l'existence d'un risque sismique en Rhône-Alpes.

## La recherche sismique en Rhône-Alpes, au cœur du dispositif européen

Depuis une vingtaine d'années, les progrès ont été significatifs quant aux trois aspects mentionnés précédemment :

- La sismicité localisée en Rhône-Alpes par le réseau SISMALP a montré des alignements d'épicentres, témoins de la présence de failles actives. La faille dite de Belledonne, en bordure du bassin grenoblois, fait partie de ces découvertes.
- L'analyse de la sismicité permet de mieux contraindre les modes de déformation des Alpes et de mieux définir le modèle de croûte terrestre. Cette connaissance a été introduite dans la définition du nouveau zonage réglementaire français.
- Les vallées alpines provoquent des amplifications considérables du mouvement du sol, comme l'a révélé le réseau accélérométrique national RAP (Grenoble, Annecy, Chambéry).
- La géométrie particulière de ces vallées induit des effets aggravants. En 2006, le bassin de Grenoble est devenu un site pilote international sur lequel de nombreuses équipes internationales ont travaillé, ce qui a abouti à la tenue d'un congrès international à Grenoble.
- Des techniques particulières pour évaluer les effets de site ont été développées et diffusées via des sessions de formation à destination des universitaires et des partenaires privés.
- Le bâti existant est vulnérable. Les projets VULNERALP et ANR ARVISE ont permis d'analyser les constructions et leur comportement sismique.
- L'instrumentation de l'Hôtel de Ville de Grenoble par le RAP a permis de vérifier l'approche expérimentale de prédiction de la réponse sismique d'une structure existante, notamment via le projet ANR ARVISE.

Grâce à ces activités, la région est au cœur des dispositifs européens d'échange, via le Master européen Erasmus Mundus (Université J. Fourier Grenoble 1, Universités de Pavie en Italie, de Patras en Grèce, et d'Ankara en Turquie) et une participation à de nombreux projets européens sur ces thématiques.



Observation des effets de site dans la vallée alpine de Grenoble lors d'un séisme de magnitude ML 5.1 à 240 km (23/02/2004). On observe un mouvement faible à la station au rocher (OGMU) par rapport à celui observé sur les sédiments (OCDH...) – Philippe Guéguen/ LCPC

Deux observatoires portés par l'OSUG (RAP, SISMALP) sont à l'origine de découvertes importantes sur le risque sismique dans les Alpes. Des développements méthodologiques menés au LGIT (Laboratoire de Géophysique Interne et Tectonophysique) ont accompagné les travaux de recherche. Ces dernières ont été valorisées sous forme d'articles scientifiques, d'une méthode d'évaluation de la vulnérabilité, d'un logiciel à destination des gestionnaires de parcs, de base de données des vallées alpines et de bases de données de mouvement accélérométriques.

**EN SAVOIR +**  
[www-lgit.obs.ujf-grenoble.fr](http://www-lgit.obs.ujf-grenoble.fr)

# Attention, falaise instable !

L'évaluation du risque d'éboulement nécessite de pouvoir suivre les masses rocheuses, et d'être capable de prédire les phénomènes de rupture. Les blocs rocheux qui se détachent des falaises ou des escarpements posent un problème aigu et permanent aux décideurs et organismes opérationnels chargés de la sécurité des biens et des personnes. Moins fréquents que les chutes de blocs individualisés, ces événements se caractérisent par un pouvoir destructeur élevé. Les moyens de protection habituellement utilisés sont peu efficaces compte tenu de l'ampleur et de l'énergie de ces phénomènes.

## Le risque d'éboulement en Rhône-Alpes

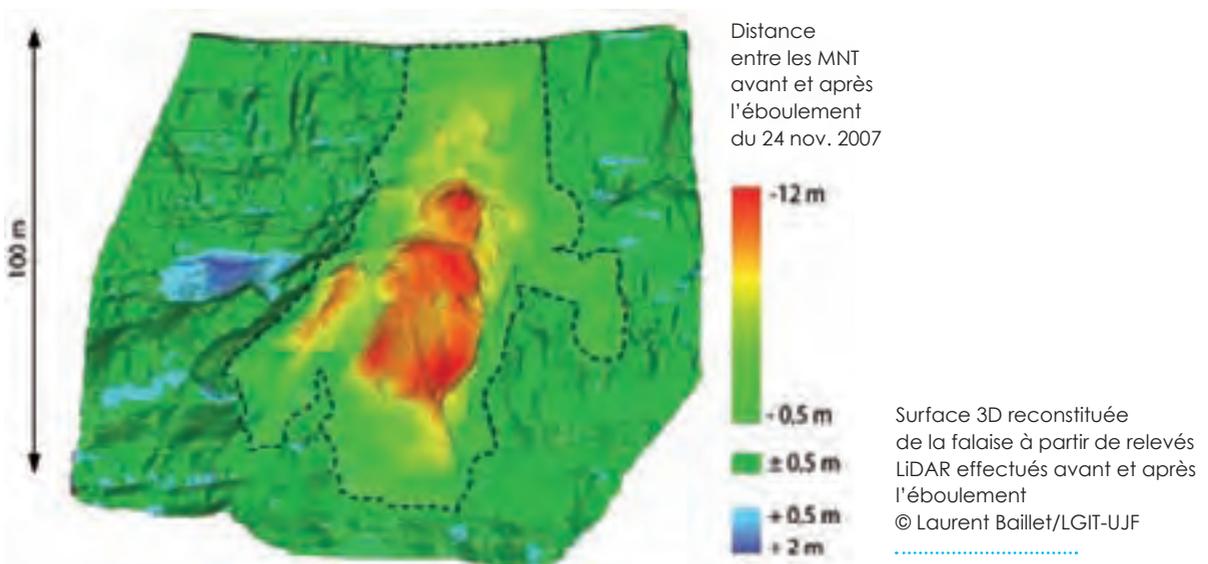
La topographie montagneuse de la région Rhône-Alpes expose cette dernière aux risques d'éboulements. Ceux-ci ont des conséquences pénalisantes tant du point de vue économique qu'environnemental.

## Évaluer le risque

Pour se prémunir contre ce risque d'éboulement, il est nécessaire d'identifier et de caractériser le plus grand nombre de sites potentiellement dangereux. Ces sites étant difficilement accessibles, les chercheurs ont principalement recours à la télédétection.

Depuis une dizaine d'années, les techniques de télédétection rapprochée ont considérablement évolué, notamment grâce à l'améliora-

tion des capteurs (GPS, imagerie numérique...). Il est maintenant possible, en quelques minutes de survol par hélicoptère, de collecter sur un site instable plusieurs centaines de millions de points caractéristiques de la surface et plusieurs dizaines d'images de haute définition. Les sites peuvent donc être décrits avec un détail inégalé. Cette information est ensuite reprise par le géologue structural et/ou le bureau d'étude, qui peut alors réaliser une étude dans des conditions de sécurité bien meilleures qu'auparavant, l'accès direct au terrain se limitant à l'examen de quelques points clés préalablement repérés par l'étude des images. Le fait que tous les sites où peuvent se développer des instabilités ne soient pas encore couverts à ce niveau de détail par ce type de techniques nouvelles pose une difficulté majeure : les analyses peuvent être compliquées ou moins riches d'enseignements, en raison de l'absence d'informations sur l'état initial.



## Surveiller les sites dangereux

Une fois le risque avéré, les sites instables doivent faire l'objet d'une surveillance. Pour cela, c'est le suivi de l'évolution de grandeurs mécaniques qui a été choisi, la méconnaissance de l'état de contraintes, de la fracturation interne, des pourcentages de ponts rocheux aux interfaces, etc., ne permettant pas une prédiction de l'éboulement par modélisation.

L'extensométrie ou la mesure des déplacements (suivi temporel de l'ouverture d'une fissure par exemple) est le moyen d'auscultation classique de falaises instables. On utilise en complément un dispositif d'auscultation sismique, constitué d'un réseau de capteurs sismiques (mesure de la vitesse) déployés sur l'écaïlle rocheuse instable et autour de celle-ci. Cette instrumentation enregistre le bruit sismique (mouvements aléatoires du sol provoqués par le vent, bruits acoustiques, activité humaine et tellurique) et les signaux

générés par les ruptures des matériaux ou le glissement d'interfaces rocheuses. La connaissance des caractéristiques mécaniques du milieu obtenues par prospection géophysique permet de localiser ces ruptures ou glissements. Lorsqu'une écaïlle rocheuse se détache progressivement, la rigidité globale de l'interface diminue, entraînant une évolution des fréquences de résonance de l'écaïlle rocheuse instable. Cette évolution a été reproduite numériquement et expérimentalement sur une écaïlle calcaire dans la réserve naturelle des hauts plateaux du Vercors, qui a été équipée d'instruments de surveillance et de mesure avant son éboulement.

Cette expérience en milieu naturel a permis de confirmer que la technique de surveillance choisie est prometteuse. Celle-ci est actuellement testée sur différents sites instables présentant des caractéristiques rocheuses et des risques variés.



Photo de la falaise et marquage (trait pointillé) de l'écaïlle rocheuse (20000 m<sup>3</sup>) avant son éboulement  
© Laurent Baillet/LGIT-UJF

Pour se prémunir du risque d'éboulement de masses rocheuses identifiées, la télédétection et le suivi temporel de grandeurs mécaniques (telles que les déplacements, les fréquences de résonance, la localisation et l'énergie des ruptures) sont actuellement étudiés afin de servir de base à un futur système d'alerte.

### EN SAVOIR +

<http://chamousset.voila.net/>  
[www-lgit.obs.ujf-grenoble.fr](http://www-lgit.obs.ujf-grenoble.fr)  
<http://massa.geoazur.eu>  
<http://chamousset2.voila.net>