



HAL
open science

Propositions pour le développement d'une méthodologie d'évaluation quantitative de l'aléa rocheux A new methodology for quantitative rock fall hazard assessment

Didier Hantz, Denis Jongmans, Laurent Baillet

► To cite this version:

Didier Hantz, Denis Jongmans, Laurent Baillet. Propositions pour le développement d'une méthodologie d'évaluation quantitative de l'aléa rocheux A new methodology for quantitative rock fall hazard assessment. 2013. hal-00808438

HAL Id: hal-00808438

<https://hal.science/hal-00808438>

Preprint submitted on 5 Apr 2013

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.

Projet C2R2OP

Changement Climatique : Risques Rocheux et Ouvrages de Protection

Propositions pour le développement d'une méthodologie d'évaluation quantitative de l'aléa rocheux

Didier Hantz, Denis Jongmans, Laurent Baillet
ISTerre, Université de Grenoble
Le 03/04/2013

1. Rappel du texte de l'étude d'opportunité concernant l'aléa

Aléa de rupture

*Progresser dans l'analyse de l'aléa exige d'abord de **développer des méthodes de reconnaissance** géophysique et d'imagerie numérique des parois (géoradar ; réponse au bruit de fond sismique ; lasergrammétrie) que ce soit pour en définir la structure initiale (réseau de fracturation) ou pour en assurer le suivi dans le temps (évolution des mécanismes de rupture, ouverture de la fissuration ou évolution des ruptures des joints rocheux, étude de la fréquence de chute dans une paroi), notamment dans le cadre de la surveillance.*

*Dans certains cas, on considère que des chutes peuvent se produire en tout point d'une paroi, relativement homogène (**aléa diffus**). Dans ce contexte, des approches probabilistes basées sur la fréquence d'éboulement observée ou estimée semblent prometteuses.*

*Dans le cas où des compartiments rocheux susceptibles de chuter sont identifiés (**aléas localisés**), le recours à des modèles de calcul simples, capables de prédire l'évolution mécanique d'un compartiment, reste un axe qu'il convient d'approfondir. Aujourd'hui, les travaux de recherche ont fortement progressé dans l'élaboration de lois de comportement robustes, dans l'établissement de critères de rupture pertinents, et enfin dans le développement d'outils de simulation performants. Sur la base de ces travaux, **développer des outils simplifiés pour l'ingénieur doit être perçu comme un objectif majeur.***

Aléa de propagation

...

Les livrables pressentis seront :

- Un état de l'art approfondi, faisant l'objet d'un document de synthèse qui sera publié*
- Un benchmark, permettant de comparer les différentes méthodologies d'évaluation couplée des aléas de rupture et de propagation*
- La mise au point d'une méthodologie unifiée, répondant à la demande d'homogénéisation des acteurs opérationnels*

On aura soin de mener ces travaux en étant attentifs aux exemples de démarche menés dans les pays transfrontaliers, en particulier en Suisse.

2. Proposition pour l'étude de faisabilité

2.1. Aléa diffus

Etat de l'art

Des travaux récents montrent qu'il est maintenant possible d'estimer quantitativement la fréquence des éboulements (en fonction du volume) sur une falaise donnée. La méthode consiste à comparer des MNT acquis à deux dates différentes (à une année d'intervalle par exemple), ce qui permet de détecter les éboulements qui se sont produits et d'estimer ainsi la fréquence des éboulements supérieurs à un certain volume (Guerin et al., 2013). Une extrapolation vers des volumes plus gros ou plus petits que ceux qui ont été observés est possible grâce aux lois de distribution qui ont été mises en évidence (Hantz et al., 2003, Hantz et al., 2012). Deux méthodes d'acquisition peuvent être utilisées : le scanner laser terrestre ou la photogrammétrie terrestre. Si le scanner laser reste cher, la

photogrammétrie se "démocratise" grâce aux logiciels open source, qui permettent de traiter des photos prises avec un appareil réflex à 1000 €. Le plus gros investissement est l'acquisition de compétences.

Travaux proposés

La fréquence des chutes dépend essentiellement de la formation géologique dans laquelle se trouve la paroi étudiée, et du contexte morphodynamique, c'est-à-dire de l'intensité des agents d'érosion (par exemple, fréquence des cycles gel-dégel, érosion par les vagues en pied de falaise, ...).

Il est proposé de caractériser certaines formations géologiques typiques, qui sont fréquemment à l'origine de risques d'éboulement, en terme fréquence spatio-temporelle de chute (nombre de chutes par unité de temps et de surface, en fonction du volume minimal considéré).

Les fréquences obtenues pourront être utilisées par les bureaux d'études pour estimer quantitativement l'aléa diffus dans des zones où une mesure directe de la fréquence de chute n'a pas été réalisée. Le risque pourra ensuite être évalué et comparé à des niveaux de risque acceptables ou tolérables (Hantz, 2011). Le risque résiduel qui subsiste une fois les travaux réalisés (dû aux plus gros éboulements possibles), pourra également être estimé quantitativement.

2.2. Aléas localisés

Etat de l'art

Le problème des aléas localisés est l'absence de méthode quantitative permettant d'estimer leur probabilité de rupture (en fonction du délai considéré), qui est donc évaluée à dire d'expert, avec une part de subjectivité (Hantz, 2012). En effet, l'analyse mécanique se heurte à deux difficultés majeures : (verrou a) une méconnaissance de la structure interne du massif rocheux ; (verrou b) une méconnaissance des processus conduisant à la rupture. Ces difficultés peuvent être évitées dans les études de renforcement (parades actives) en adoptant des hypothèses pessimistes concernant la structure (hypothèse de continuité des joints rocheux, par exemple) et en utilisant des modèles mécaniques de comportement à court terme, associés à des coefficients de sécurité. Mais cette approche n'est pas satisfaisante dans une étude d'aléa, dont l'objectif n'est pas de garantir la sécurité, mais d'évaluer la stabilité (et son évolution future) de la manière la plus réaliste possible. C'est pourquoi une autre approche, dite géomorphologique, est proposée pour répondre à la demande sociétale d'évaluation quantitative de l'aléa.

Un cas particulier est celui des sites où des mouvements irréversibles sont déjà perceptibles (aléas actifs). Dans certaines conditions, des lois empiriques de fluage tertiaire peuvent alors être utilisées pour estimer une date de rupture par extrapolation.

Travaux proposés

Grâce aux progrès réalisés en matière d'aléas diffus, il est maintenant possible de contraindre les évaluations effectuées à dire d'expert ou issues d'un modèle géomécanique incomplet. Pour une falaise (ou un itinéraire) dans laquelle des aléas localisés ont été détectés et évalués, l'espérance du nombre d'éboulements prévus (en termes de probabilité d'occurrence) doit être compatible avec la fréquence de chutes observée (par scanner laser ou photogrammétrie) pour la même falaise, ou avec une fréquence estimée compte tenu du contexte géologique (Hantz et al., 2003).

Un benchmark permettrait de comparer les différentes méthodologies d'évaluation de l'aléa de rupture (probabilité de départ des éboulements). Le problème est qu'en matière d'aléa rocheux, la prévision porte sur une période de l'ordre du siècle. Comme il n'est pas possible d'attendre une telle durée pour évaluer les différentes prévisions, il est proposé de comparer les nombres d'éboulements prévus par les différentes méthodes (en réalité leurs espérances), dans une certaine gamme de volume, au nombre estimé à partir de mesures par scanner laser ou photogrammétrie. Comme ces mesures concerneront nécessairement une gamme de volumes plus petits (du fait de la durée limitée du projet), le nombre de chutes de volumes plus gros sera estimé par extrapolation de la loi fréquence-volume (plusieurs travaux récents ont montré que cette loi est valable sur plusieurs ordres de grandeur).

La même démarche peut être appliquée à l'aléa d'impact (fréquence d'atteinte d'un enjeu). La prévision ne porte plus sur un nombre d'éboulements attendus dans la falaise, mais sur un nombre probable de blocs d'une certaine taille minimale (ou d'une certaine énergie) qui atteindront l'enjeu dans le délai considéré (siècle). Dans ce cas, il est possible de comparer la prévision au nombre de blocs (par siècle) qui se sont déposés au-delà d'une certaine limite (définie par un angle de propagation). La date de dépôt des blocs peut être estimée à partir de la végétation qui les a colonisés (mousse, herbe, arbustes, arbres) ou du modelé karstique (pour le calcaire). Il est également possible d'utiliser les impacts observés sur les arbres.

Pour progresser dans l'analyse mécanique des compartiments potentiellement instables, une approche observationnelle est proposée pour une modélisation géomécanique (géométrie et mécanique) plus réaliste des masses rocheuses (verrou a). Cette approche novatrice associe l'analyse structurale par photogrammétrie ou scanner laser, à l'étude de la réponse dynamique des compartiments rocheux au bruit de fond sismique. L'analyse structurale permet de décrire la fracturation telle qu'elle apparaît en surface, et la réponse dynamique reflète le couplage mécanique entre les compartiments et la falaise, qui dépend de l'extension des discontinuités à l'intérieur du massif, ainsi que des paramètres géomécaniques (Levy et al., 2010). Cette approche devrait permettre de construire un modèle géomécanique validé par l'observation, qui peut être utilisé ensuite pour estimer le degré de stabilité actuel des compartiments rocheux. Pour traiter le problème de l'évolution de cette stabilité (verrou b), nous proposons une loi simple d'évolution du coefficient de sécurité, dont le paramètre rhéologique sera déterminé à partir du nombre d'éboulements attendus dans la falaise étudiée, obtenu par l'approche géomorphologique décrite précédemment (Hantz, 2010). Cette méthode nécessite une approche globale des aléas localisés, à l'échelle de la falaise.

La réponse dynamique d'un compartiment potentiellement instable au bruit de fond sismique constitue également une méthode nouvelle de suivi, qui permet de mettre en évidence le découplage progressif entre le compartiment instable et le massif stable, via l'évolution de la fréquence de résonance. En effet, il a été montré que cette dernière diminuait en fonction du temps, en relation avec les ruptures progressives de ponts rocheux (Levy et al., 2011). La mesure rapide de la fréquence de résonance et du volume potentiel de l'écaïlle instable (par Lidar ou photogrammétrie) permet d'obtenir une première information sur le degré de découplage. Un paramètre complémentaire facile à mesurer est la sensibilité de la fréquence de résonance à une sollicitation thermique, qui dépend également de l'ouverture des fractures et du degré de découplage de l'écaïlle. Ces mesures, qui peuvent être maintenant réalisées en routine, doivent être validées sur des cas d'étude.

Remarque

Les différentes approches proposées devraient permettre d'estimer des fréquences ou des probabilités d'occurrence à un facteur 10 près, ce qui représenterait un progrès considérable par rapport à la situation actuelle où l'estimation n'est que qualitative (du type probabilité forte, moyenne ou faible). Il est important de pouvoir estimer si la probabilité annuelle de décès d'une personne habitant au pied d'une falaise ou empruntant quotidiennement un itinéraire est de 10^{-3} , 10^{-6} ou 10^{-9} . Cette probabilité peut alors être comparée à un critère d'acceptabilité, comme cela se fait déjà dans différents pays, qui se sont engagés sur la voie de l'évaluation quantitative de l'aléa rocheux (Suisse par exemple).

Références

- Guerin A., Rossetti J-P., Hantz D., Jaboyedoff M. (2013) Estimating rock fall frequency in a limestone cliff using LIDAR measurements. *International Conference on Landslide Risk, Ain Draham (Tunisia)*
- Hantz, D., Vengeon, J.M., Dussauge-Peisser, C. (2003) An historical, geomechanical and probabilistic approach to rock-fall hazard assessment. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 3: 693-701.
- Hantz D. (2010) Evaluation de l'aléa de déclenchement des chutes de blocs. In : *Géomécanique des instabilités rocheuses, Traité MIM - Mécanique et ingénierie des matériaux*, Lavoisier.
- Hantz D. (2011) Quantitative assessment of diffuse rock fall hazard along a cliff foot. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 11: 1303–1309.
- Hantz D. (2012) Gestion de l'incertitude et de l'ignorance, dans l'évaluation de la probabilité de déclenchement des éboulements rocheux. *Journées Fiabilité des Matériaux et des structures 2012*, Chambéry.
- Hantz D, Benedetti L, Bourlès D, Carcaillet J (2012) Un modèle de recul des falaises pour évaluer les fréquences d'éboulement. *Journées Nationales de Géotechnique et de Géologie de l'Ingénieur 2012*, Bordeaux.
- Levy C., Baillet L., Jongmans D., Mouro P., Hantz D. (2010) The dynamic response of the Chamousset rock column (Western Alps, France). *Journal of Geophysical Research - Earth Surface*, 115, F04043, doi:10.1029/2009JF001606.
- Levy C, Jongmans D, Baillet L (2011) Analysis of seismic signals recorded on a prone-to-fall rock column (Vercors massif, French Alps). *Geophysical Journal International* 186(1):296-310.