

Aléa de rupture des sources d'éboulements : quelques aspects de sa quantification

Michel Jaboyedoff, Li Fei, Mariam Ben Hammouda, Tiggi Choanji, Marc-Henri Derron, Federico Franzosi*, Amalia Gutierrez, Zenan Huo, Jinjing Wang, Charlotte Wolff

Groupe Risque, Institut des Sciences de la Terre, Université de Lausanne, CH-1015 Lausanne, Suisse. (michel.jaboyedoff@unil.ch)

*Department of Earth and Environmental Sciences, University of Milano-Bicocca, 20126 Milano, Italie

Mots clés source d'éboulement, aléa, volume, activité

Résumé : Deux méthodes d'amélioration de l'évaluation de l'aléa d'éboulement sont présentées. Sur la base d'une approche matricielle de l'aléa, la première méthode tente d'évaluer l'aléa de rupture d'une instabilité rocheuse de taille moyenne en se basant sur l'activité des chutes de blocs et la déformation. La seconde méthode est une validation de la distribution cumulative de fréquence temporelle du volume obtenue en comparant le résultat de l'inventaire des volumes éboulés et la distribution obtenue en utilisant les volumes instables potentiels. Ces méthodologies sont à un stade précoce de développement, les résultats ne sont pas encore confirmés.

Intrpduction

Nous présentons deux tentatives pour améliorer l'évaluation de l'aléa de rupture des chutes de pierres et d'éboulement. La première est basée sur l'approche de l'aléa matricielle, elle tente d'évaluer la rupture d'une instabilité rocheuse de taille moyenne sur la base de deux paramètres: l'activité de l'éboulement et la déformation. Elle part du principe qu'une masse rocheuse se déforme avant la rupture, ce qui est mesuré comme par le déplacement divisé par la longueur du glissement de terrain dans la direction du déplacement. Lorsque celle-ci est supérieure à 0,001 % par an, cela commence à être significatif. Si cela est associé à une fréquence temporelle de chutes de pierres supérieure à 0,1 par an pour des blocs de plus de 1 m³, l'aléa est significatif. La matrice est créée avec quatre classes numérotées de 1 à 4 pour les deux paramètres d'activité et plus la somme des deux est élevée, plus le niveau de danger est élevé.

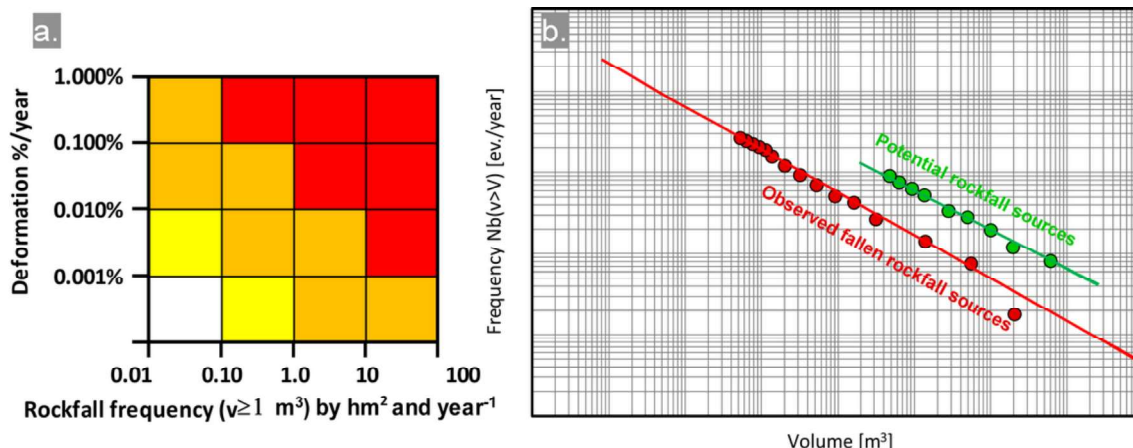


Figure 1. A. Niveaux d'aléa de rupture basés sur la fréquence des chutes de pierres et les déformations. Rouge = élevé, orange = moyen, jaune = faible et blanc = nul. B. Exemple synthétique de la méthode qui consiste à comparer les distributions (loi puissance) des volumes observés et potentiels et vérifier qu'elles possèdent toutes les deux des valeurs de pente b similaires.

La deuxième tentative est une validation de la distribution cumulative de fréquence temporelle des volumes obtenue en comparant le résultat de l'inventaire des volumes de roches éboulés par

événement et la distribution obtenue en utilisant les volumes instables potentiels. Les distributions de volumes peuvent être obtenues en comparant des nuages de points pour les volumes éboulés et en utilisant des structures ou d'autres méthodes pour définir les volumes instables et leurs limites. Ces méthodologies sont à un stade précoce de développement, les résultats ne sont pas encore confirmés, mais elles peuvent être testées et utilisées dans le cas d'un risque rapide et d'une évaluation du risque.

Loi de distribution des volumes

Une distribution en loi de puissance des volumes des sources de chutes de blocs ou d'éboulements a été montrée pour la première fois dans la vallée de Yosemite (Wieczorek et al., 1995) et confirmée par une étude récente (Guerin et al., 2020). La fréquence temporelle de rupture de volume supérieur ou égal à V est donnée par (Dussauge-Peisser et al., 2003):

$$N(v \geq V) = \frac{1}{S} \frac{N_0}{\Delta t} \left(\frac{V}{V_0} \right)^{-b} = a V^{-b}$$

où N_0 est le nombre d'événements supérieurs ou égaux à V_0 , issus d'une surface de falaise S , qui se sont produits au cours d'une période Δt et b est l'exposant qui peut être déduit de la distribution cumulative des volumes tirée d'un inventaire. La période de retour τ est donnée par :

$$\tau(v > V) = \frac{1}{N(v \geq V)}$$

Récemment, Hantz et al. (2020) ont utilisé l'indice de résistance géologique (GSI) et l'espacement des joints pour caractériser les paramètres a et b de la loi de puissance appliquée à l'aléa non localisé dans une paroi rocheuse.

Aléa d'éboulement important

L'aléa d'éboulement peut être estimé à l'aide d'une méthode simple, basée sur l'évaluation de l'activité, en particulier dans le cas de pentes rocheuses proches de l'équilibre (Figure 1a). L'activité d'une instabilité rocheuse de taille moyenne menant à la rupture peut être caractérisée sur la base de la déformation, soit par le rapport du déplacement observé de la longueur de l'instabilité dans la direction de la déformation (Chigira, 2009), soit par l'activité des chutes de blocs (Jaboyedoff et al., 2012). Ainsi, lorsque la déformation d'une masse rocheuse est accompagnée d'une activité de chutes de blocs, plus la déformation et/ou les chutes de blocs sont élevées, plus l'instabilité est susceptible de rompre. Ainsi, une matrice peut être construite avec la déformation et la fréquence de chutes de bloc par unité de surface. Cette dernière peut être définie par un paramètre de la loi de puissance avec les unités [$\text{hm}^{-1} \text{ year}^{-1}$].

Validation des lois de puissance

Créer un bon ajustement linéaire dans les graphiques en échelle log-log est souvent assez facile, mais cela ne signifie pas que les résultats soient pertinents, cela signifie qu'il est important de vérifier la validité des résultats. On peut d'abord le confirmer en effectuant plusieurs années de relevé en comparant les valeurs a et b pour chaque année. De considérer une année est important pour éviter l'impact des saisons sur l'activité, ou alors il faut choisir la même saison pour la comparaison.

Une autre solution consiste à créer une distribution des volumes potentiellement instables et susceptibles de tomber et à comparer la valeur b des deux distributions. Le volume d'instabilité potentielle peut être défini soit par un simple calcul en utilisant les structures comme limites, soit en utilisant le niveau de base local incliné (SLBL) (Jaboyedoff et al., 2020).

Si les volumes d'instabilités éboulées observés suivent une distribution en loi de puissance, elle peut être comparée à la distribution des volumes potentiellement instables. Si les valeurs b sont similaires de moins de $\pm 0,1$, cela peut prouver que les volumes tombés caractérisent bien la morphologie de la paroi rocheuse et on peut conclure que l'aléa de rupture possède un bon niveau de confiance. Cela

a été montré dans une carrière qui subit des glissements de terrain, dont nous ne pouvons pas reproduire les données et sur l'instabilité de la Brenva (Jaboyedoff et al., 2019).

Discussion et conclusion

La première méthode est une tentative d'obtenir un niveau d'aléa en observant les deux types d'activités, soit les déformations (mouvements) et les chutes de pierres. Elle part du principe que lorsque les deux sont présentes, l'aléa de rupture est accru, ce qui a été observé dans plusieurs exemples. Cette première tentative utilise les limites proposées par Hantz et al. (2020) pour l'activité et les prolonges, sur la base d'une échelle logarithmique. En ce qui concerne les niveaux de déformation, elle a utilisé les valeurs proposées pour les grands glissements de terrain (Jaboyedoff et al., 2012). Tout doit être amélioré en utilisant plus d'études de cas pour fixer les limites des deux échelles logarithmiques de la matrice. Son application est probablement utile pour évaluer la rupture près de l'équilibre limite.

La seconde méthode tente de rendre plus objectif l'aléa de rupture basé sur la relation loi de puissance volume - fréquence temporelle. En effet, il n'existe pas de réelle validation de la distribution en loi de puissance, car la variabilité du facteur b peut être importante. Pour cela, les volumes potentiellement instables sont estimés à l'aide d'estimations de volume basées sur diverses méthodes telles que SLBL. L'accord des deux valeurs de b peut être un test pour la qualité de l'hypothèse de loi de puissance pour le volume. Mais celle-ci doit être appliquée dans de nombreux autres cas pour être validée. De tels comportements ont déjà été observés et partiellement vérifiés au niveau de l'ensemble du versant (Jaboyedoff et Evans, 2005), montrant qu'elle nécessite des développements supplémentaires.

Référence

- Chigira, M. 2009. September 2005 rain-induced catastrophic rockslides on slopes affected by deep-seated gravitational deformations, Kyushu, southern Japan. *Engineering Geology* 108 : 1-15.
- Dussauge, C., Grasso, J.-R., Helmstetter, A., 2003. Statistical analysis of rockfall volume distributions : Implications for rockfall dynamics. *Journal of Geophysical Research : Solid Earth*, 108(B6).
- Guerin, A., Stock, G.M., Radue, M.J., Jaboyedoff, M., Collins, B.D., Matasci, B., Avdievitch, N. & Derron, M.-H. 2020b. Quantifying 40 years of rockfall activity in Yosemite Valley with historical Structure-from-Motion photogrammetry and terrestrial laser scanning. *Geomorphology*, 107069, doi : <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2020.107069>.
- Hantz, D., Colas, B., Dewez, T., Lévy, C., Rossetti, J.-P., Guerin, A. & Jaboyedoff, M. 2020. Caractérisation quantitative des aléas rocheux de départ diffus. *Rev. Fr. Géotechnique*, 163, 2.
- Jaboyedoff M., Derron M.-H., Pedrazzini A., Blikra L., Crosta G. B., Froese C., Hermanns R., Oppikofer T., Stead D. 2012. Évaluation rapide de la susceptibilité des instabilités de roches massives. Dans Eberhardt E. et al. (Eds) : *Landslides and Engineered Slopes. Protecting Society through Improved Understanding. Actes du 11e symposium international et du 2e symposium nord-américain sur les glissements de terrain (Banff, Canada, 3-8 juin 2012)* CRC press, 459-465.
- Jaboyedoff M., Guérin A., Noël F., Li F., Derron M.-H., Troilo F., Bertolo D. and Thuegaz P. 2019. Structural and hazard assessment of the Brenva rockslide scar (Mont-Blanc massif, Aosta Valley, Italy). *EGU2019-10867, NH3.16/GM7.7/HS11.42*
- Jaboyedoff, M., Carrea, D., Derron, M.-H., Oppikofer, T., Penna, I.M. & Rudaz, B. 2020. A review of methods used to estimate initial landslide failure surface depths and volumes. *Engineering Geology*, 267, 105478, doi : <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2020.105478>.
- Jaboyedoff M., Evans S.G. 2005. Distribution auto-similaire du nombre cumulé de volumes de glissements de terrain potentiels. *Geophysical Research Abstracts*, Vol. 7, 05815, SRef-ID : 1607-7962/gra/EGU05-A-05815, EGU.
- Wieczorek, G. F., S. P. Nishenko, et D. J. 1995. Varnes, Analysis of rock falls in the Yosemite Valley, California, *Proc. U.S. Symp. Rock Mech.*, 35e, 85-89.