

# **ALEA ROCHEUX DIFFUS : EVALUATION QUANTITATIVE DE LA FREQUENCE D'IMPACT SUR LES ENJEUX**

## ***DIFFUSE ROCKFALL HAZARD: FROM QUALITATIVE TO QUANTITATIVE ASSESSMENT***

Didier HANTZ<sup>1</sup>, Jean-Pierre ROSSETTI<sup>1,2</sup>, Quentin VENTROUX<sup>1</sup>, Frédéric BERGER<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Univ. Grenoble-Alpes, Grenoble, France

<sup>2</sup> Alp'Géorisques, Domène, France

<sup>3</sup> IRSTEA, Grenoble, France

**RÉSUMÉ** – La fréquence d'impact sur un enjeu est estimée à partir du taux volumique de recul de la paroi et d'une simulation des trajectoires des blocs. Le taux de recul est déterminé à partir de mesures diachroniques de la paroi par scanner laser (ou par analogie). Le nombre et la taille des blocs tombant annuellement sont déterminés à partir de la loi de distribution des volumes de bloc, établie à partir d'un relevé de blocs.

**ABSTRACT** – The impact frequency on an element at risk is estimated from the volumetric retreat rate and a simulation of the block trajectories. The retreat rate is determined from diachronic surveys of the rock cliff using scanner laser (or using the retreat rate of similar cliffs). The number and size of the blocks which fall yearly are derived from the distribution of the block volumes, given by blocks survey.

### **1. Introduction**

La fréquence d'impact sur une pente située sous une falaise rocheuse résulte de la fréquence de départ (ou de rupture) des chutes et de la probabilité de propagation des blocs jusqu'au point considéré. La fréquence de départ est le plus souvent évaluée de manière qualitative par jugement d'expert, mais la probabilité de propagation peut-être estimée par jugement d'expert (à partir de l'observation de blocs tombés) ou quantitativement par une approche mécanique (simulation des trajectoires ou méthode énergétique basée sur un angle de propagation). Il en résulte que l'évaluation de la fréquence d'impact est généralement qualitative et donc subjective. Une nouvelle approche est proposée, basée sur le taux volumique de retrait de la falaise (en  $m^3 \cdot an^{-1} \cdot hm^{-2}$ ), la distribution des volumes des blocs et la simulation de leurs trajectoires. La méthode est appliquée à la falaise inférieure du Mont Saint-Eynard (Figure 1), qui domine l'agglomération grenobloise. Cette falaise haute de 250 m, est constituée de calcaire lité de l'Oxfordien supérieur (Séquanien).



Figure 1. Le Mont Saint-Eynard (1359 m), dominant les communes de Corenc et Meylan.

## 2. Taux de recul de la falaise

La fréquence des chutes de roche dans une falaise peut être déterminée par comparaison diachronique de modèles numériques de falaise obtenus par scanner laser ou par photogrammétrie (par exemple, Guerin et al., 2014). De nombreux auteurs ont montré que la relation fréquence-volume des chutes obéit à une loi puissance. Cette loi peut être appliquée à la fréquence des chutes sur l'ensemble d'une falaise ou à la fréquence par unité de surface (fréquence spatio-temporelle) :

$$F = A V^{-B} \quad (1)$$

F est le nombre de chutes de volume supérieur à V, par unité de temps et de surface de paroi. Les paramètres A et B dépendent de la falaise étudiée. Dans le cas du Mont Saint-Eynard, la fréquence des chutes a été déterminée à partir de mesures par scanner laser terrestre (Guerin et al., 2014). La Figure 2 représente les chutes de plus de 0,1 m<sup>3</sup> détectées par comparaison des modèles numériques de falaise obtenus en 2009 et 2012.

L'intégration des volumes des chutes donne le taux volumique de recul (Hantz et al, 2002) :

$$W = V_{max}^{(1-B)} A / (1-B) \quad (2)$$

$V_{max}$  étant le volume maximal d'une chute. Des valeurs des paramètres de la loi puissance pour différents types de massif rocheux sont données par Hantz et al (2015). La valeur de l'exposant de la loi puissance varie entre 0,4 à 0,8 et la fréquence spatio-temporelle des chutes de volume supérieur à  $0,1 \text{ m}^3$ , entre  $0,06$  et  $6 \text{ an}^{-1}.\text{hm}^{-2}$ . Les mesures par scanner laser permettent de détecter les chutes sur une certaine plage de volume, et la loi est extrapolée vers les volumes plus petits (indétectables) et plus gros (non détectés car pas assez fréquents), avec cependant une valeur maximale possible.



Figure 2. Chutes détectées dans la falaise inférieure du Mont Saint-Eynard, par comparaison des modèles numériques de falaise obtenus par scanner laser terrestre en 2009 et 2012 (233 chutes de plus de  $0,1 \text{ m}^3$ ).

### 3. Distribution des blocs éboulés

Pour simuler les trajectoires des blocs, il est nécessaire de savoir comment le volume éboulé se fragmente en blocs lors de la chute (essentiellement lors du premier impact). Pour cela, nous avons mesuré les volumes (supérieurs à  $0,1 \text{ m}^3$ ) des blocs de plusieurs éboulements survenus ces dernières années dans les chaînes subalpines (Hantz et al., 2014 ; Ventroux, 2015). Leur distribution est bien ajustée par une loi puissance, avec un exposant compris entre 0,6 et 1,1 selon le type de massif rocheux.

$$n = a v^{-b} \quad (3)$$

$n$  est le nombre de blocs de volume supérieur à  $v$ . La Figure 3 représente les distributions obtenues pour 4 éboulements survenus dans 4 falaises différentes.

La relation entre le volume total éboulé  $V$  et les paramètres  $a$  et  $b$  est similaire à (2) :

$$V = v_{max}^{(1-b)} a / (1-b) \quad (4)$$

$v_{max}$  étant le volume maximal d'un bloc. En admettant que l'exposant  $b$  est le même pour toutes les chutes provenant d'une même paroi, cette relation peut s'appliquer également au volume total  $W$  tombant annuellement d'une paroi. Connaissant ce volume, l'exposant

b et le volume maximal d'un bloc, il est possible de calculer le paramètre a, et donc de connaître la distribution des volumes des blocs tombant annuellement d'une paroi (équation 3). La distribution obtenue pour le Mont Saint-Eynard est représentée sur la Figure 4.

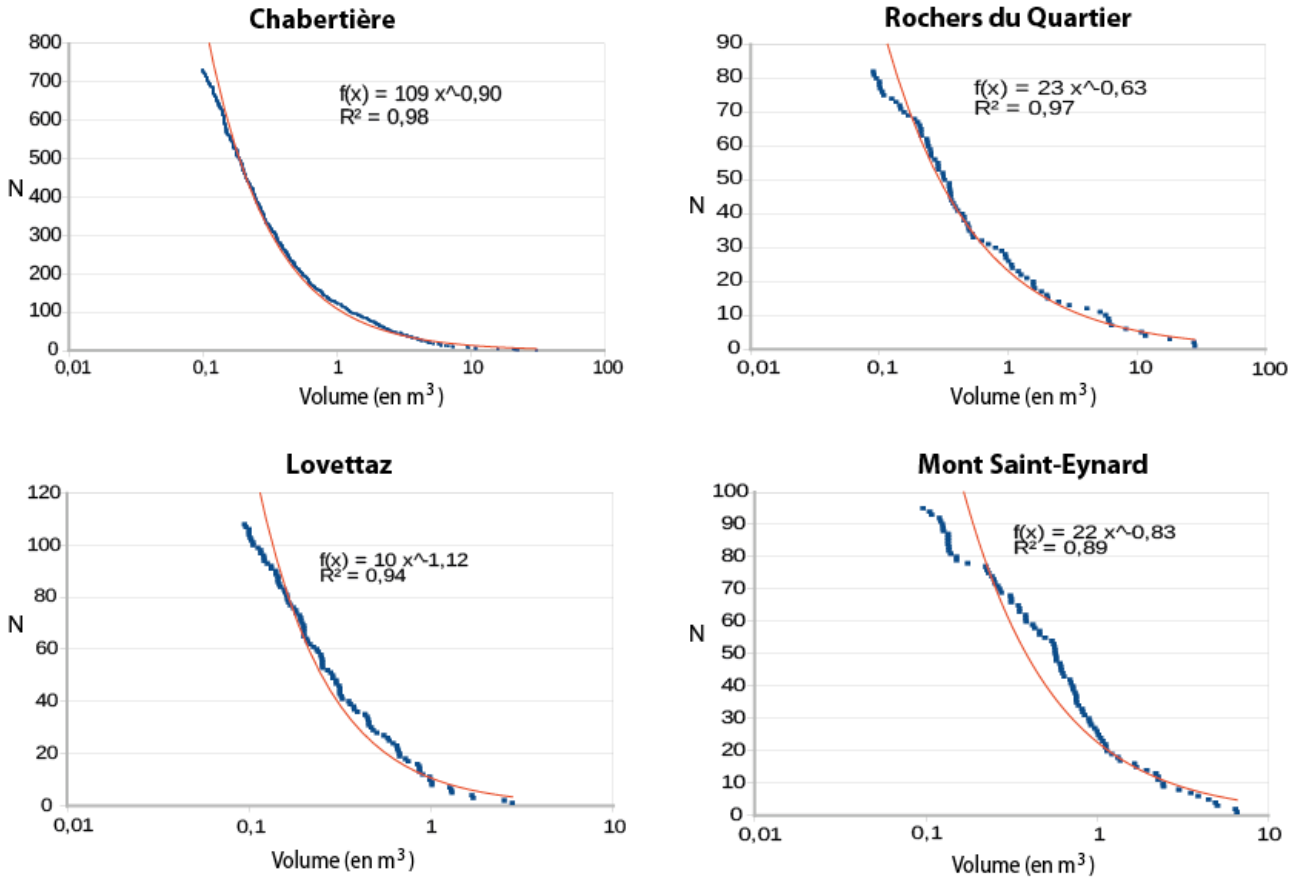


Figure 3. Distribution des volumes des blocs de différents éboulements.

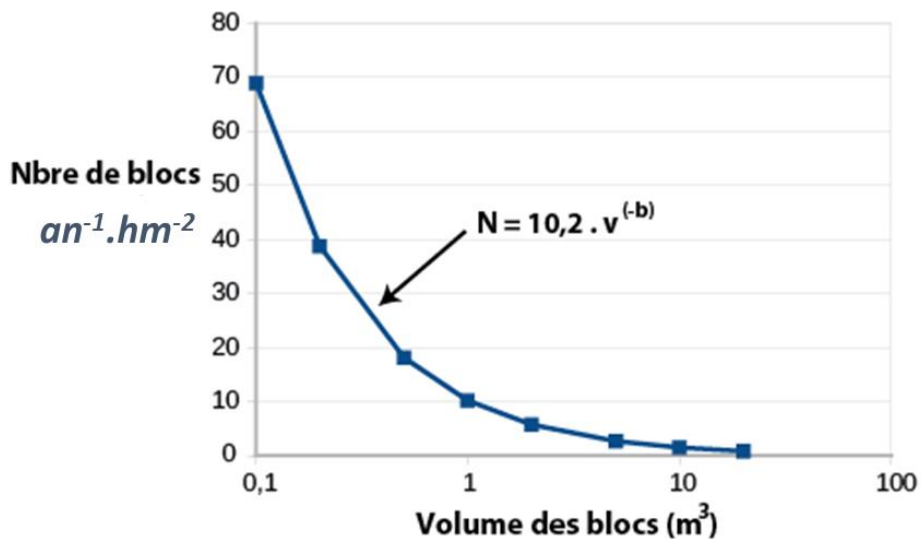


Figure 4. Nombre de blocs tombant de la falaise inférieure du Mont Saint-Eynard par an et par hm<sup>2</sup>, en fonction du volume.

#### 4. Simulation des trajectoires des blocs

En utilisant un logiciel de trajectographie, il est possible de simuler les trajectoires des blocs qui tombent d'une paroi durant une période déterminée, et donc de déterminer la fréquence d'impact sur un enjeu quelconque dans le versant.

La méthode a été appliquée au Mont Saint-Eynard en utilisant le logiciel Rockyfor 3D (Dorren et Berger, 2012). La figure 5 montre le résultat obtenu en utilisant pour la distribution des chutes, les valeurs  $A = 1,0 \text{ an}^{-1} \cdot \text{hm}^{-2}$  et  $B = 0,71$  obtenues par Guerin et al. (2014) et un volume maximal de chute de  $10^6 \text{ m}^3$ , et pour la distribution des blocs la valeur  $b = 0,83$  obtenue par Ventroux (2015), un volume minimal de bloc de  $1 \text{ m}^3$  et un volume maximale de  $100 \text{ m}^3$ . La figure 6 montre les lignes iso-valeur correspondant à différentes fréquences d'impact sur un enjeu de  $1 \text{ m}^2$  de largeur, ainsi que la limite entre les zones d'aléa fort et moyen, telles qu'elles apparaissent sur les PPRN des communes de Corenc et Meylan. Cette limite correspond à une fréquence d'impact de l'ordre de  $10^{-3}$  bloc par an par pixel de  $1 \text{ m}^2$ , soit  $10^{-2}$  blocs par an pour un bâtiment d'une dizaine de m de largeur.

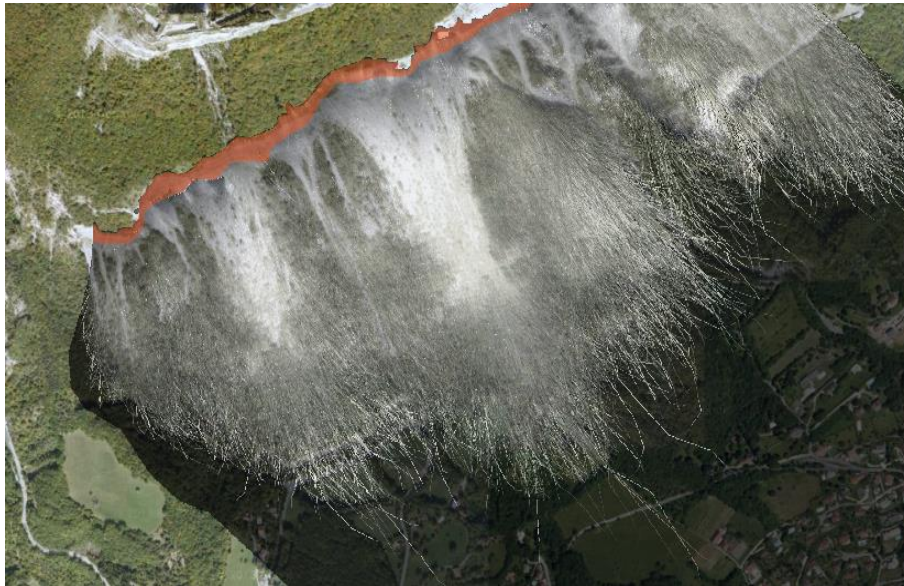


Figure 5. Trajectoires des blocs de plus de  $1 \text{ m}^3$  tombant de la falaise pendant une période de 1000 ans (simulation Rockyfor3D).

#### 5. Conclusions

Une évaluation quantitative de la fréquence d'impact en fonction du volume des blocs (ou de leur énergie) est maintenant possible, à partir d'une mesure ou d'une estimation de la fréquence spatio-temporelle de départ, et de la distribution des volumes des blocs. Des mesures de la fréquence spatio-temporelle de départ sur différentes falaises sont nécessaires afin de mieux connaître sa relation avec les conditions géologiques, géomorphologiques et climatiques. Des mesures du volume des blocs issus des éboulements sont nécessaires afin de mieux connaître la distribution de ce volume et sa relation avec les conditions géologiques des falaises.

**Remerciements.** Les auteurs remercient la Fédération VOR et le projet C2ROP pour leurs financements.

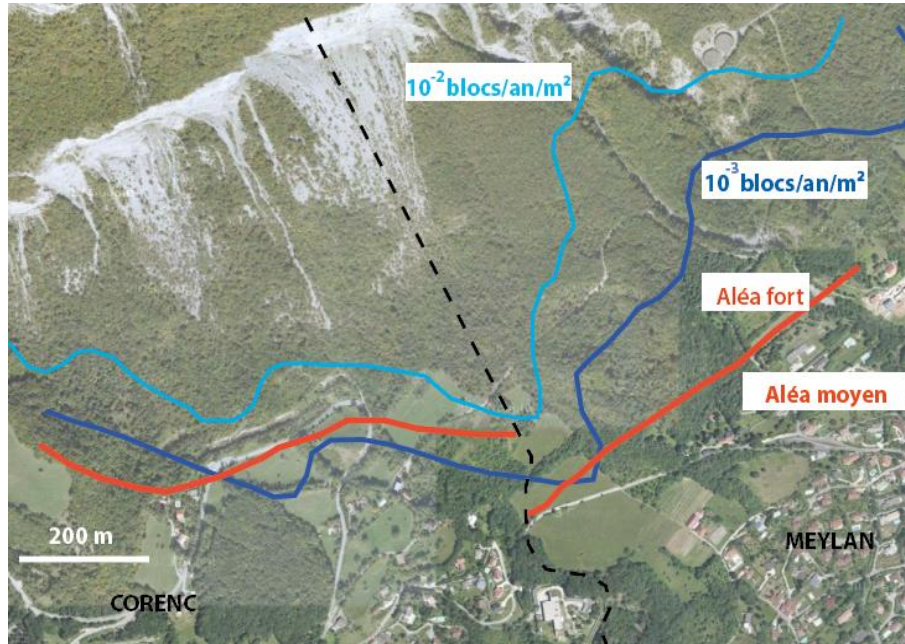


Figure 6. En bleu, lignes iso-valeur correspondant à différentes fréquences d'impact sur un enjeu de 1 m de largeur. En rouge, limite entre zones d'aléa fort et d'aléa moyen sur les communes de Corenc et Meylan (Isère).

## 5. Références bibliographiques

- D'Amato J., Guerin A., Hantz D., Rossetti J-P., Baillet L., Mariscal A., Jaboyedoff M. (2015). Influence of geological and meteorological factors on the frequency of rockfalls. *Eurock2015, Salzburg*.
- Dorren L.K.A., Berger F. (2012). Rockyfor3D (v5.1) à coeur ouvert. *EcorisQ*.
- Guerin A., Hantz D., Rossetti J-P, Jaboyedoff M. (2014). *Brief communication* "Estimating rockfall frequency in a mountain limestone cliff using terrestrial laser scanner". *Nat. Hazards Earth Syst. Sci. Discuss.*, 2, pp. 123–135, doi:10.5194/nhessd-2-123-2014.
- Hantz D, Dussauge-Peisser C, Jeannin M, Vengeon J-M. (2002). Danger d'éboulements rocheux : de l'opinion d'expert à une évaluation quantitative. *Symp. Geomorphology: from expert opinion to modelling, Strasbourg, 26-27/04/02*, pp. 115-122.
- Hantz D., Rossetti J-P., Servant F., D'Amato J. (2014). Etude de la distribution des blocs dans un éboulement pour l'évaluation de l'aléa. *Rock Slope Stability 2014, Marrakech*.
- Ventroux Q. (2015). Étude de la distribution volumétrique des blocs rocheux et estimation de la probabilité d'impact sur des enjeux. *Rapport de Master, ISTERre-Université de Rennes 1*.