

DEUX EBOULEMENTS REMARQUABLES DANS LES GORGES DE L'ARLY (2014, 2019, SAVOIE, FRANCE)

TWO REMARKABLE ROCKFALL IN GORGES DE L'ARLY (2014, 2019, SAVOIE, FRANCE)

Lionel LORIER¹, Anne LESCURIER², Alexandre MATHY¹, Ombeline BRENGUIER³, Pierre BOTTELIN³

¹ SAGE (Société Alpine de Géotechnique), Gières, France

² CD 73 (Conseil Départemental de la Savoie), Chambéry

³ ADRGT (Association pour le Développement des Recherches sur les Glissements de Terrain), Gières, France

RÉSUMÉ – Au sein des gorges de l'Arly (Savoie, France), le site des Cliets a connu deux crises majeures en 2014 et 2019, avec deux éboulements de 10 000 et 8 000 m³, respectivement. L'instrumentation géodésique a permis de mesurer des déplacements importants précurseurs à la rupture (> plusieurs dizaines de cm), de distinguer la phase d'accélération terminale et de prendre les décisions de fermeture de route avant la rupture.

ABSTRACT – Within the Arly gorges (Savoie, France), two major rockfalls of 10,000 and 8,000 m³, respectively occurred in 2014 and 2019. The geodetic measurements showed significant displacements precursors to failure (> several tens of cm), which permitted to distinguish the terminal acceleration phase and to close the route before the failure.

1. Introduction

La Route Départementale RD1212 est un axe important reliant les départements de la Savoie et de la Haute-Savoie et, plus globalement, donnant un accès aux stations de ski du Val d'Arly, à la vallée de Chamonix et au tunnel du Mont Blanc. L'itinéraire se développe sur 15 km environ dans des gorges étroites et sinueuses creusées par la rivière de l'Arly. Localement, dans le secteur des Cliets, la route emprunte un tunnel de 60 m de longueur dont les 2 têtes sont dominées par d'imposantes falaises constituées de ressauts rocheux raides sur près de 120 m de dénivelée. Ce secteur est connu pour être le siège de nombreuses chutes de blocs et d'éboulements importants qui ont historiquement coupé la route pendant plusieurs mois. Le site fait l'objet d'un suivi géologique particulier depuis 2003, assuré par la SAGE pour le compte du Conseil Départemental CD73 gestionnaire de la route depuis la deuxième phase de décentralisation en 2006.

D'un point de vue géologique, les falaises des Cliets sont composées de micaschistes extrêmement fracturés (de la « Série Satinée » de Belledonne), constitués par une alternance de bancs durs et de niveaux tendres plus déformables. L'ensemble du versant des Cliets est affecté par des phénomènes de fauchage de grande ampleur. Après un diagnostic géologique détaillé du site (étude structurale combinée à des mesures géophysiques), il est apparu qu'un volume de matériaux de l'ordre de 7500 à 8500 m³ était potentiellement instable, avec des épaisseurs de rocher très fracturé en mouvement pouvant atteindre 9 m. Compte tenu des mouvements qui affectent ce site depuis 15 ans environ, les matériaux en présence s'apparentent à un amas désorganisé de gros blocs et d'éboulis imbriqués avec de nombreux vides en profondeur, certains secteurs s'étant affaissés de plus de 2 m en cumulé.

2. Suivi et surveillance

Le suivi du site est constitué essentiellement par des mesures géodésiques, sur la base de 9 puis 15 cibles sur la période 2004-2014 (Figure 1) et de 42 cibles sur la période 2015-2019 (Figure 2). Les 9 cibles initiales étaient relevées avec une période mensuelle par un géomètre entre 2004 et 2013, puis un théodolite automatique a été installé afin de lever les positions des cibles avec une fréquence horaire (2013-2019). Cette instrumentation a été complétée par des extensomètres posés au droit des discontinuités majeures du massif rocheux. L'ensemble de ces données est transmis à distance et dispose d'une solution de visualisation en ligne.



Figure 1. Photo du site avec implantation des cibles (2004-2014).

Depuis 2018, le site fait l'objet d'un suivi photogrammétrique complémentaire dans le cadre de la thèse CIFRE de Mathilde DESRUES (Unistra).

3. Observations

3.1. Crise de 2014

À la suite d'un éboulement en 2003, un système de suivi ponctuel a été mis en place. Dès son démarrage, un certain nombre de cibles ont clairement montré l'activité du site avec des périodes de mouvement durant les mois d'hiver alternant avec des périodes plus calmes (Figure 3). C'est à partir de 2010 que les périodes plus calmes (correspondantes au mois d'été) ont progressivement disparu et que la tendance générale des mouvements

montre une nette accélération avec des changements notables de comportement de certaines cibles (comme les cibles 6 et 7 qui montrent des déplacements de l'ordre de 25 à 45 cm sur une période annuelle entre 2011 et 2012– voir Figure 3).

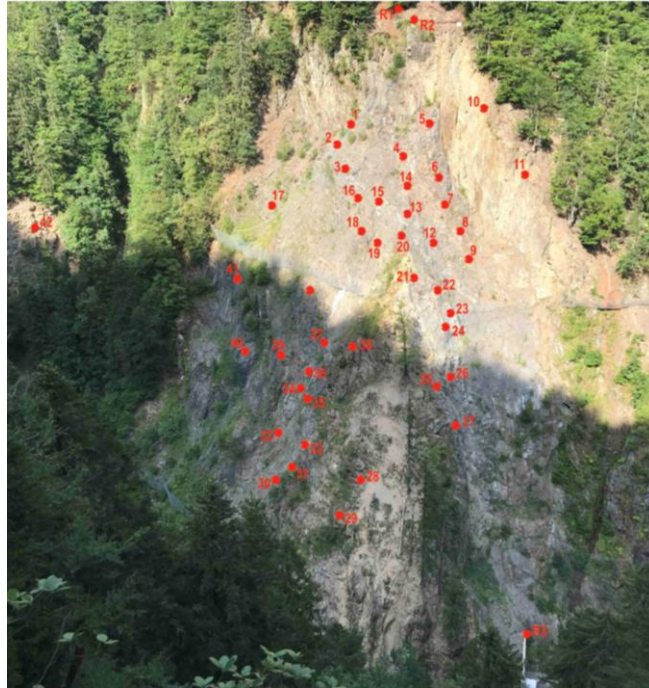


Figure 3. Photo du site avec implantation des cibles (2015-2019)

Durant l'année 2013, les mouvements annuels mesurés sur les cibles 6 et 7 sont compris entre 75 et 85 cm avec une nette accélération à partir du mois de novembre. En octobre, un premier éboulement mineur a obligé le CD73 à fermer la route à la circulation jusqu'au 18 décembre, le temps de purger et réparer les ouvrages de protection. Durant les travaux, face à l'accélération toujours constatée des mouvements, le CD73 a décidé de mettre en place une surveillance du site en continu de façon à pouvoir anticiper une accélération du phénomène pouvant mener à la rupture du compartiment rocheux instable et fermer ainsi la route à bon escient pour ne pas exposer les usagers.

Dès le démarrage de cette surveillance continue, les mouvements se sont encore accélérés avec des mouvements de l'ordre de 20 à 25 cm/mois durant le mois de décembre 2013 (pour les cibles 6 et 7) laissant présager qu'un éboulement important pouvait se produire de façon imminente en début d'année 2014.

En concertation avec les services du CD73 et les élus locaux, la route a été fermée à la circulation le 13 janvier 2014 en pleine saison touristique hivernale, soit 9 jours avant l'éboulement majeur qui s'est produit dans la nuit du 22 au 23 janvier 2014. La surveillance automatique qui a fonctionné jusqu'à la rupture a permis de mesurer des vitesses moyennes 24 h avant l'éboulement de l'ordre de 15 à 20 cm/jour et quelques heures avant l'éboulement de l'ordre de 1 m/jour. L'éboulement a été précédé par de nombreuses chutes de blocs et d'importants désordres dans le versant (ouverture de fractures, affaissements de compartiments rocheux). Le volume total de l'éboulement est proche de 10 000 m³, sa cicatrice forme une grande entaille dans le versant sur près de 60 m de dénivelée et ses limites sont liées au passage de grands accidents géologiques. Les matériaux éboulés forment un grand cône d'éboulis qui a recouvert entièrement la chaussée et la tête du tunnel sur plusieurs dizaines de mètres.

Les travaux de sécurisation du secteur ont démarré rapidement après l'éboulement et ont permis de remettre en circulation la RD1212 le 17 juillet 2014, soit 6 mois seulement

après l'éboulement, pour un montant global de travaux de 1 million d'euros (purges importantes, grillages et filets plaqués).

3.2. Crise de 2019

En parallèle des travaux de sécurisation, la nouvelle instrumentation géodésique a été mise en place pour surveiller d'éventuels déplacements post-rupture. Assez rapidement, une zone problématique dite « éperon central » non purgée lors de l'éboulement de 2014 a montré des signes d'activité : ouverture de fractures, poinçonnement des plaques d'appui, déformation et rupture des grillages notamment. Cette zone est située à l'aplomb immédiat du tunnel des Cliets, avec une forte probabilité d'atteinte des 2 têtes de tunnel en cas de rupture.

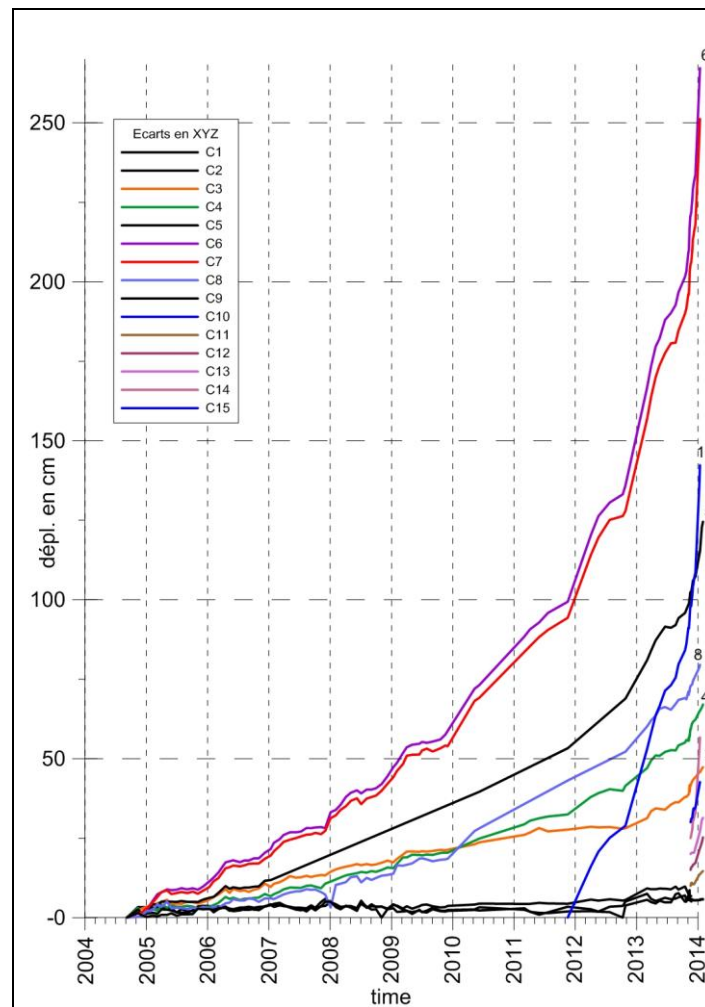


Figure 2. Évolution des cibles topographiques (2004-2014)

Dans une première phase (non présentée ici), des alternances de ralentissements et accélérations successives ont été observées, généralement contrôlées par la pluviométrie et les cycles saisonniers. Le comportement du massif rocheux est alors assez similaire à la phase pré-éboulement de 2014.

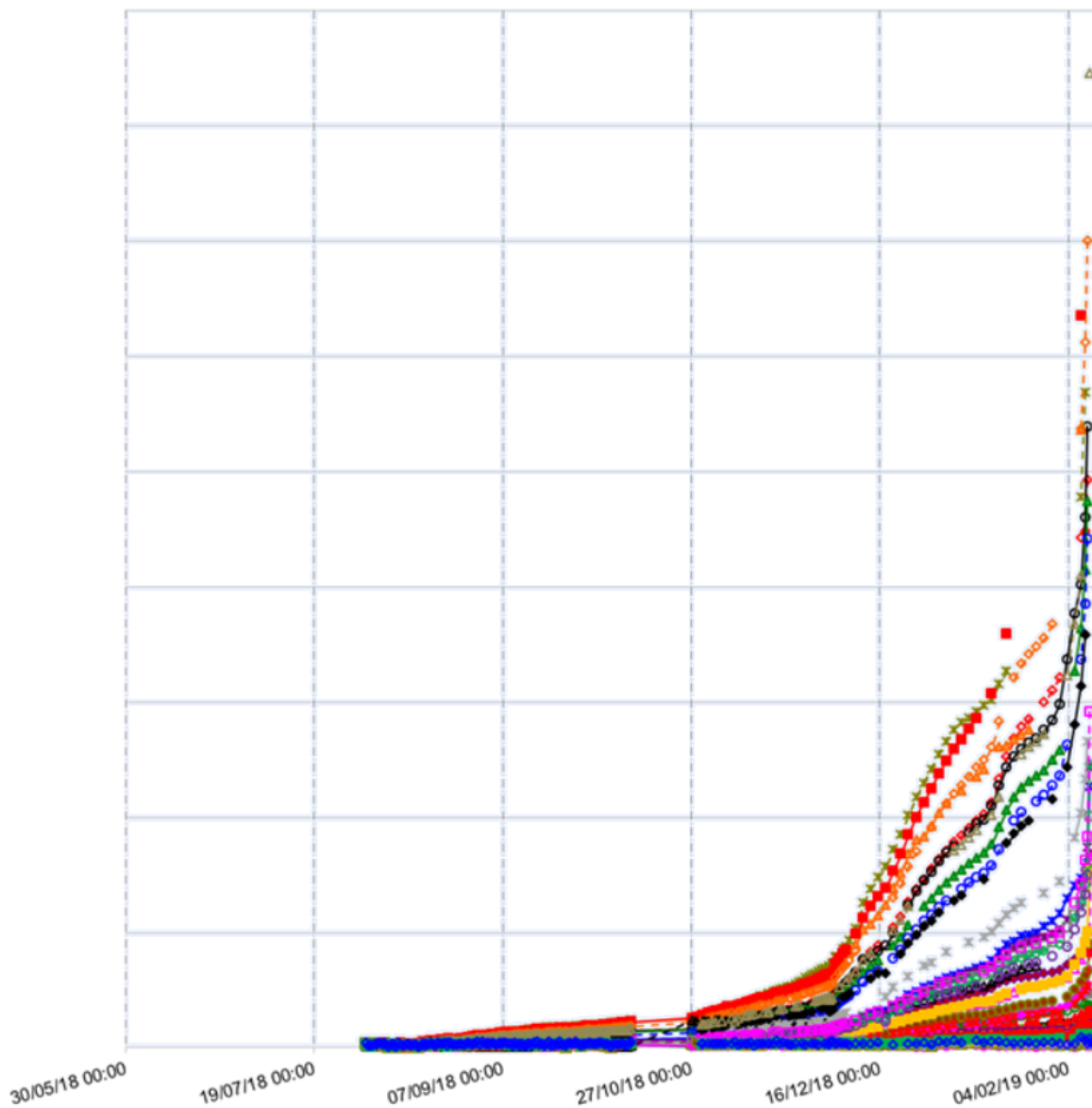


Figure 4. Évolution des cibles topographiques (2018-2019)

A partir de décembre 2018, une accélération très nette des déplacements est observée avec des vitesses atteignant plusieurs cm/jour (figure 4), notamment dans la zone la plus active de l'éperon central.

Début février 2019, une nouvelle accélération s'est produite avec des vitesses atteignant plusieurs dizaines de centimètres par jour.

La route a été fermée à la circulation le vendredi 08/02/2019 à 16 h, l'extrapolation des déplacements mesurés indiquant l'imminence de la rupture. Le samedi 09 février, premier jour des vacances d'hiver, l'éboulement est survenu un peu après 13 h, précipitant 8 000 m³ de matériaux sur la route, notamment au niveau de la tête amont du tunnel.

La RD1212 est fermée depuis ce nouvel éboulement avec un itinéraire de déviation mise en place par la route d'Héry. Une solution de tunnel court pour franchir la zone des Cliets est en cours de réalisation (L=240m) associé à un nouvel ouvrage de franchissement de l'Arly. La durée de fermeture prévisionnelle de la route est de 2 ans.

4. Méthodes de prédiction de rupture

Deux méthodes de prédiction de rupture ont été utilisées dans le cadre de cette étude : la méthode Fukuzono (Fukuzono, 1985) et la méthode d'Azimi (Azimi et al., 1988).

La méthode de Fukuzono est une méthode de résolution graphique de la date de rupture. Elle consiste à représenter l'inverse de la vitesse de déplacement en fonction du temps et de chercher le point d'intersection de cette droite avec l'axe des abscisses. A ce point la vitesse de déplacement devient théoriquement infinie et correspond à la date de rupture.

La méthode d'Azimi est aussi une méthode graphique. Elle consiste à découper la courbe de déplacement en intervalles de déplacement égaux pour lesquels la valeur de t_n est notée. Ces points sont alors représentés sur un graphique $t_n=f(t_{n-1})$. La date de rupture est déterminée lorsque $t_n=t_{n-1}$, ce qui correspond à l'intersection de la courbe $t_n=f(t_{n-1})$ et la bissectrice.

5. Conclusions

Grace au suivi topographique détaillé du site des Cliets à l'aide d'extensomètres et d'un théodolite automatique avec télétransmission des données, les points suivants peuvent être notés :

- la qualité, continuité et la densité des séries temporelles sur les deux éboulements de 2014 et 2019 est remarquable ;
- le massif rocheux montre des déplacements importants précurseurs à la rupture (plusieurs dizaines de cm) vers l'aval et vers l'ouest. Ce comportement mécanique est en accord avec la géologie du site (micaschistes fracturés relativement ductiles) et le mécanisme de rupture (fauchage vers l'ouest/sud-ouest).
- l'interprétation des séries de déplacement par des géologues expérimentés a permis de distinguer la phase d'accélération terminale des accélérations ponctuelles précédentes. La date de rupture a pu être estimée via la méthode de Fukuzono (Fukuzono, 1985) et d'Azimi (Azimi et al., 1988), ce qui a permis de prendre les décisions de fermeture de route respectivement 9 jours (2014) et 1 jour (2019) avant la rupture.

6. Références bibliographiques

Azimi, C., Biarez, J., Desvarreux, P., and Keime, F. (1988). Prévision d'éboulement en terrain gypseux. Proceedings, 5th International Symposium on Landslides, Lausanne, Rotterdam, vol. 1, pp. 531–536.

Fukuzono, T. (1985). A new method for predicting the failure time of a slope failure. Proceedings. 4th International Conference and Field Workshop on Landslides, pp. 145–150.