

CONSTRUCTION D'UNE GALERIE PARE-BLOCS – RETOUR D'EXPERIENCE SUR LA REALISATION DES FONDATIONS PROFONDES

CONSTRUCTION OF A ROCK GUARD GALLERY – FEEDBACK ON THE REALIZATION OF DEEP FOUNDATIONS

Christophe SABATIER¹, Jean-Philippe JARRIN², Christian PELJAK³
Vincent FRISON-ROCHE⁴

¹ Géolithe, 181 rue des Bécasses, 38920 Crolles, France, christophe.sabatier@geolithe.com

² Géolithe, 181 rue des Bécasses, 38920 Crolles, France, jp.jarrin@geolithe.com

³ Conseil Départemental de Haute-Savoie, 23 rue de la Paix, 74000 Annecy
christian.peljak@hautesavoie.fr

⁴ Léon Grosse - Agence TP, 10 bvd de Russie 73100 Aix-les Bains, v.frisonroche@leongrosse.fr

RÉSUMÉ – Suite à la construction d'une galerie pare-blocs en vue de sécuriser un itinéraire routier d'accès à une station de ski, il est proposé, après avoir rappelé le contexte de l'opération, de partager un retour d'expérience concernant les conditions de réalisation des fondations de l'ouvrage et les difficultés associées rencontrées.

ABSTRACT – After the construction of a rockfall protection gallery aiming to secure a road accessing to a ski resort, it is proposed, after recalling the context of the operation, to share a feedback about the construction conditions of the structure foundations and the associated difficulties encountered.

1. Introduction

Afin de sécuriser et pérenniser l'accès routier à la station de ski du Praz-de-Lys, et du fait d'éboulements récurrents conduisant fréquemment à la fermeture de la RD 328, le Département de la Haute-Savoie a décidé de la construction d'une galerie de protection contre les éboulements de 150m de longueur environ.

Le site est caractérisé par des glissements de terrains et éboulements rocheux en lien avec des phénomènes d'érosion régressive du versant situé en amont de la route. Les protections historiques en place pour limiter les impacts sur la route se sont avérées insuffisantes suite à l'aggravation et à l'ampleur des éboulements observées ces dernières années.

Après avoir décrit le contexte général du site et les principaux enjeux de l'opération, cet article a pour objectif de détailler les principales difficultés et adaptations prises au cours de la réalisation des travaux, en particulier au niveau des fondations de l'ouvrage.

2. Contexte de l'opération

2.1. Contexte général et historique

Le site de l'opération est situé sur la RD 328 (au lieu-dit « La Ravine » sur la commune de Taninges) qui constitue l'accès routier principal à la station de ski du Praz-de-Lys. En hiver, il s'agit du seul accès à la station, les cols environnants (la Ramaz et l'Encrenaz) étant fermés à la circulation.

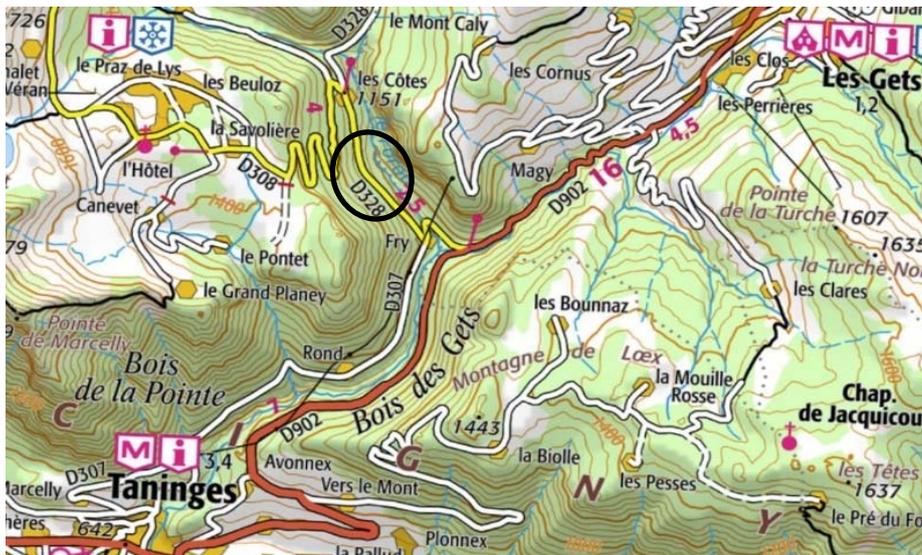


Figure 1 : Localisation de la zone de travaux – lieu-dit de « la Ravine »

Le site est connu depuis longtemps (au moins 1914) comme une zone d'instabilités, avec des éboulements et glissements de terrain en provenance du versant amont surplombant la route. Depuis un glissement important en février 1995, le site de la Ravine est en constante évolution avec des chutes de pierres et blocs et une érosion régressive du versant qui s'intensifie. Jusqu'alors, les ouvrages de protections en place (murs de soutènement béton tenus par une ligne d'ancrages...) étaient suffisants pour contenir l'essentiel des événements. Toutefois, les évolutions se sont très significativement amplifiées depuis 1999 et, en 2013, des purges successives d'un total de 1 000 m³ sur l'année ont été réalisées, alors que la moyenne des purges annuelles sur les 5 années précédentes était plutôt de l'ordre de 300 m³.

En mai 2015 et début 2016, de nouvelles coulées encore plus conséquentes ont entraîné plusieurs fermetures de la route et conduit le Département à effectuer un suivi régulier de la zone et à renforcer les protections existantes avec construction d'un mur provisoire en lego blocs (blocs béton empilables). Fin avril 2016, des études fines d'inspection du versant ont mis en évidence une zone de mouvement beaucoup plus importante, d'un volume potentiel de 500 000 m³.



Figure 2 : Vue générale et curage suite éboulement du 31 janvier 2016

Face à l'importance des masses de matériaux en présence et à l'enjeu économique que représente l'accès à la station du Praz-de-Lys, le Département a décidé de construire une galerie pare-blocs sur cette section et de garantir un accès alternatif en toute saison au Praz-de-Lys par le col de la Ramaz, le temps de réaliser les travaux de construction de la galerie (installation de 4 passerelles provisoires pour le passage des skieurs au-dessus de la route et permettant le déneigement de celle-ci en cas de fermeture de la RD328)

2.2. Contexte géologique et hydrogéologique

Le site de la Ravine s'inscrit dans un contexte géologique de formations de pente superficielles (colluvions) reposant sur des schistes sédimentaires argilo-siliceux très déstructurés. Ces roches sont très hétérogènes mécaniquement avec une alternance de niveaux résistants et de niveaux décomprimés sur des épaisseurs parfois supérieures à 20m. Sous les éboulis de surface, les terrains rencontrés sont principalement des **schistes ardoisiers** de l'Oxfordien de nature délitable avec un litage lié à une schistosité localement très fine et présentant un pendage variable, localement dans le sens de la pente ou au contraire rentrant dans le terrain, ce qui est à l'origine de la création de surplombs susceptibles de générer des éboulements. Des **calcaires et brèches supérieures** du Kimméridgien sont observés plus haut dans le versant ainsi que sur le versant situé en face.

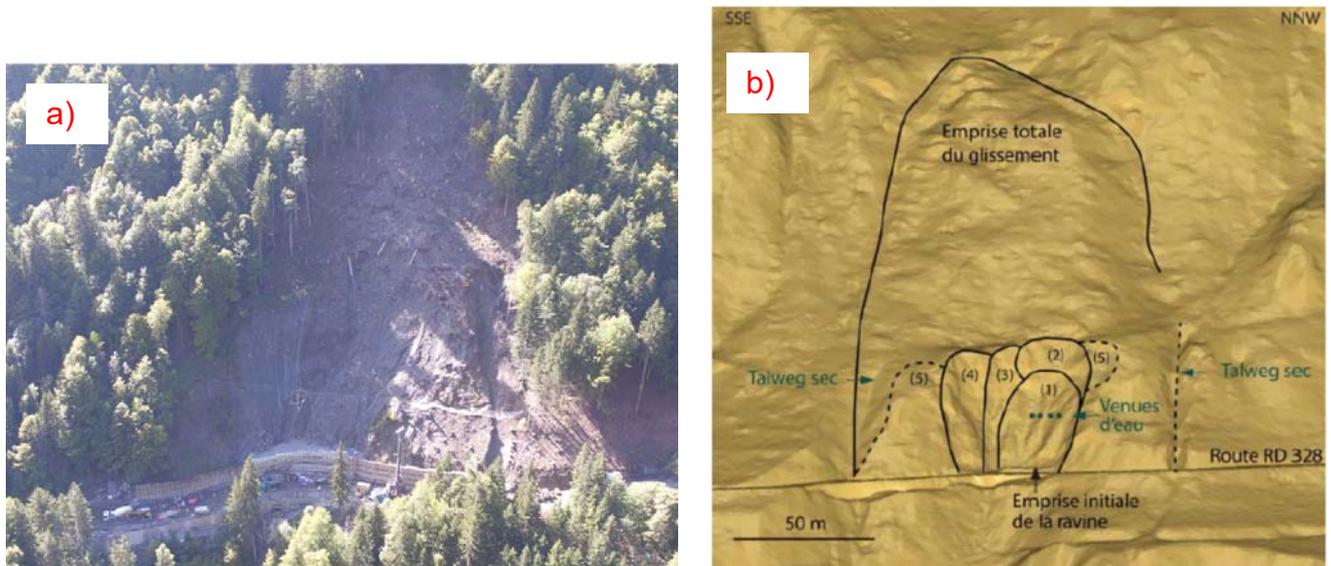


Figure 3 : a) Physionomie du glissement en septembre 2017
 b) Localisation des zones d'érosion initiale (1) puis successives (2 à 5) - extrait réf.[1]

La pente globale du versant est importante, comprise entre 30 et 45° en fonction des ressauts rocheux et des masses glissées. En amont de la zone en glissement, la pente reste continue jusqu'à atteindre les barres rocheuses calcaires et bréchiqes du Kimméridgien, qui constituent la bordure orientale du plateau de la station du Praz-de-Lys. A l'amont, la limite du glissement est constituée de plusieurs cicatrices profondes et en échelons, démontrant que ce glissement est déjà ancien. De même, dans cette partie, de nombreux arbres présentent une forme en crosse à leur base, témoignant d'un mouvement lent. Cette observation a été corroborée par une étude dendrologique des arbres autour de la cicatrice amont, qui a identifié 7 phases de glissement au cours du 20^{ème} siècle, et une accélération du glissement depuis 1999 (étude réalisée par IRSTEA en 2016). – cf réf. [1]

La RD 328 est située en rive droite du ruisseau du Foron qui s'écoule plusieurs dizaines de mètres en contrebas de la route. En période humide, plusieurs résurgences sont visibles dans le versant en amont de la route avec des arrivées d'eau pouvant être parfois très

conséquentes dans les talwegs formés dans les éboulis en périodes de fortes précipitations et/ou fonte des neiges. Ces eaux semblent provenir à la fois des infiltrations au niveau du plateau du Praz-de-Lys ainsi que dans le versant en amont immédiat de la zone de glissement.



Figure 4 : nombreuses résurgences observées suite aux très fortes pluies du 1^{er} mai 2015

Plusieurs campagnes de reconnaissances successives ont été réalisées lors des études de conception de façon à préciser le contexte de site. Il a notamment été réalisé des profils de sismiques réfraction, des sondages pressiométriques verticaux depuis la route et en versant (moyens hélicoptés), la pose d'inclinomètres de 30 à 50m de longueur et l'exploitation des données de forage de 33 drains subhorizontaux réalisés dans le versant (longueur 20m).

2.3. Contexte de réalisation des travaux

Deux épisodes pluvieux intenses, en mai 2015 et janvier 2016 ont engendré une évolution rapide de la physionomie du glissement avec l'effondrement d'importants volumes (de l'ordre de 2000m³) et l'extension de la surface instable du versant, menaçant un linéaire > 100m de large au niveau de la chaussée. Entre mars 2017 et janvier 2018, plusieurs éboulements et coulées de volume significatif (plusieurs centaines de m³) se sont produites. La RD328 étant la principale route d'accès à la station du Praz-de-Lys depuis Taninges, le maintien de son ouverture, notamment en saison hivernale constitue un enjeu important pour l'économie locale. Hors période hivernale, des déviations sont possibles avec un accès à la station par des cols habituellement fermés durant l'hiver.

Etant donnée l'ampleur des travaux à réaliser et une emprise de voirie forcément limitée (itinéraire de montagne), avec une pente en long marquée (9 à 10 % en moyenne), les travaux nécessitent une **coupure totale de la circulation** pour leur réalisation. Compte tenu des enjeux et de la nécessité de pouvoir maintenir en permanence l'accès à la station du Praz-de-Lys, les travaux sont interrompus chaque hiver afin de permettre une réouverture de la route pour la saison hivernale. Par ailleurs et compte tenu des évolutions récentes et rapides du versant des dernières années, il était nécessaire que ces travaux soient réalisés rapidement et avec des mesures de sécurisation provisoires afin d'assurer la sécurité du chantier.

A cet effet, et en complément des ouvrages de protection habituels de types filets, barrières grillagées et écrans, il a été mis en place des dispositifs d'alerte à déclenchement automatisé basés sur des suivis topographiques et extensométriques positionnés judicieusement dans le versant.

3. Description de l'ouvrage et des travaux

3.1. Conception et géométrie générale de l'ouvrage

Compte tenu de la géométrie et topographie du site et notamment celle de la base du versant, il a été choisi une galerie en béton avec une dalle supérieure subhorizontale.

De ce fait, la neige et les matériaux en provenance des éboulements du versant se stockeront sur la dalle de couverture de la galerie jusqu'à atteindre leur pente naturelle d'équilibre. Les descentes de charges statiques s'exerçant sur l'ouvrage seront donc très conséquentes à terme.

L'ouvrage de type portique présente un mur aveugle côté montagne (piédroit amont). L'espace en arrière de ce mur a été remblayé lors des travaux afin d'éviter tout impact de blocs rocheux sur ce mur amont. Afin de protéger la dalle supérieure des impacts, un remblai de 2m d'épaisseur a été mis en œuvre. Côté aval, la dalle s'appuie sur un piédroit largement ajouré (fenêtres avec un entraxe entre poteaux de l'ordre de 6m) permettant un éclairage et une ventilation naturelle dans l'ouvrage.

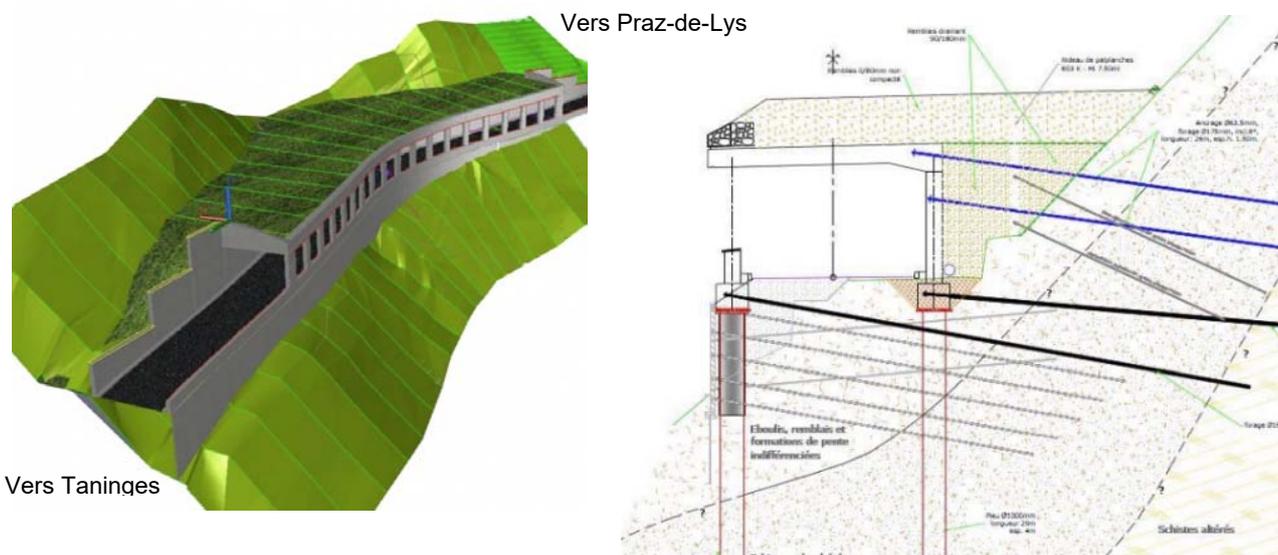


Figure 5 : a) Vue 3D de la galerie b) vue en coupe galerie et de ses fondations

L'ouvrage était prévu à l'origine sur une longueur de 100m. De nouveaux éboulements très conséquents (2000 à 3000 m³) en rive gauche du glissement, survenus au démarrage de l'opération de travaux en janvier 2018, ont conduit à la décision de prolonger d'environ 50m l'ouvrage, portant ainsi la galerie à une longueur totale de 150m. Cette possibilité d'extension future avait été imaginée dans la conception initiale.

3.2. Phasage des travaux

La sécurisation de l'itinéraire routier s'est déroulée en plusieurs phases étalées sur **6 ans de travaux**.

Une première phase de travaux préparatoires, en 2016 et 2017, a permis de mettre en place les premiers ouvrages de protection, de dégager l'emprise nécessaire à la construction de la galerie en réalisant les soutènements permettant l'élargissement de la chaussée (paroi clouée côté aval de la route notamment), et de réaménager les ouvrages hydrauliques de traversée sous la galerie.

La réalisation des fondations de l'ouvrage (pieux et ancrages) puis les travaux de construction de la galerie ont ensuite été réalisés entre 2018 et 2021.

4. Complexités inhérentes au site et aux travaux

4.1. Gestion des emprises et coactivité

Sur un chantier routier linéaire de ce type, il existe une difficulté de gestion des emprises particulièrement marquée sur un itinéraire de montagne (route de largeur réduite) et aggravée ici du fait d'une très forte coactivité en vue de pouvoir réduire les délais globaux de réalisation. Au plus fort de l'activité, jusqu'à 3 ateliers travaillaient simultanément sur chantier pour réaliser les ancrages en parallèle de l'atelier de réalisation des pieux. Cela nécessite une gestion des flux particulièrement organisée et l'anticipation des livraisons des différentes fournitures.

NOTA : la plateforme routière a été élargie au préalable à environ 10 m par réalisation d'environ 450 m² de paroi clouée au niveau du talus aval sur approximativement 115m le long de la RD.

L'éloignement des centrales d'approvisionnement des bétons est une autre contrainte à prendre en considération car elle a pour conséquence une faible marge vis-à-vis de la DPU (durée pratique d'utilisation) du fait des temps de trajet incompressibles. Cela a induit une vigilance particulière sur le cadencement des toupies et la réalisation de contrôles renforcés pour les bétonnages de volume important (piédroit, dalle).

4.2. Fondations de l'ouvrage

Compte tenu de la nature très hétérogène des terrains sous-jacents à la chaussée, et de l'épaisseur importante des éboulis et/ou de rocher très altéré, l'ouvrage fait l'objet d'un système de fondations profondes. De manière plus précise, la galerie est fondée sur 77 pieux en béton (47 pieux amont et 30 pieux aval) descendus entre 21 et 35m de profondeur. Les pieux ont été réalisés en diamètre 1m à l'aide d'une foreuse d'un poids de 108 tonnes. Les efforts horizontaux s'exerçant sur la galerie sont repris par 4 lignes d'ancrages scellés au terrain avec des longueurs variant entre 20 et 30m (localement 42m). Il s'agit d'ancrages constitués de barres GEWI Ø 63.5mm scellées au terrain.

L'une des difficultés des travaux, anticipée lors de la conception, est de réaliser les pieux de fondations sans endommager les ancrages de la paroi clouée existante dont la trajectoire avait pu varier malgré les contrôles réalisés d'azimut lors de la réalisation des ancrages. Pour les pieux aval, des réservations Ø 1320mm avaient été mises en œuvre au cours de l'opération d'élargissement de la route, dans lesquelles les pieux ont ensuite été forés. Cette disposition n'était pas possible pour les pieux amont. Malgré une réalisation des ancrages de la paroi clouée avec un contrôle fin de leur orientation, compte tenu de la puissance de la machine de forage de pieux utilisé, des incertitudes subsistaient quant à l'endommagement potentiel de certains ancrages. Afin de lever les doutes sur des ancrages ayant pu être endommagés sans être recoupés (ancrages pouvant être tordus, leur scellement en partie déstructuré...), une campagne d'essais de contrôle a été réalisée après la réalisation des pieux sur les ancrages possiblement impactés.

4.3. Particularités concernant les ancrages

Les ancrages ont été réalisés avec des foreuses classiques sur chenilles et/ou avec un mât de forage déporté pour les ancrages les plus hauts. Ils ont été forés au moyen de taillants excentriques de diamètre 170 à 185mm. Compte tenu de l'hétérogénéité des terrains à traverser et de la mauvaise tenue sur les premiers mètres, ils étaient tubés en diamètre 152 ou 168mm pour la traversée des éboulis et/ou horizons de rocher très altéré.

A noter que lors de la réalisation des ancrages pour essais de convenance, l'Entreprise a envisagé une réalisation en technique auto-forante mais cette tentative a été rapidement abandonnée du fait de la non maîtrise des forages correspondants.

L'hétérogénéité des terrains rencontrés et les variations importantes des profondeurs d'interface entre les différents horizons (éboulis / rocher très altéré / rocher faiblement altéré) ont nécessité une adaptation des longueurs d'ancrages, appliquée par zone, avec un besoin préalable d'explicitier et de définir conjointement (Maîtrise d'œuvre / Entreprise) des critères d'arrêt (logigramme de décision)

4.4. Particularités et difficultés rencontrées lors de la réalisation des pieux

Pour les pieux situés côté aval de la galerie, et afin d'éviter un report d'efforts horizontaux sur la paroi clouée existante, les pieux (forés à l'intérieur de viroles en béton laissées en place comme réservation lors de la réalisation de la paroi clouée) ont été équipés d'un tubage définitif sur les premiers mètres, de façon à conserver un vide annulaire.



Figure 6 : a) Pose des viroles béton – 2017

b) Réalisation des pieux aval -2018

Malgré les reconnaissances réalisées lors des études préalables aux travaux, le rocher dans lequel vient s'ancrer les pieux de fondations s'est avéré plus dur que prévu et avec une variabilité de profondeur très importante. De ce fait, et malgré les moyens prévus pour réaliser ces pieux forés tubés dans un contexte attendu comme très hétérogène, des difficultés de forages ont rapidement été constatées au démarrage des pieux : usure très importante des outils de forages, casses de matériel, cadences extrêmement réduites pour le forage des pieux dans la partie « rocher »... Il a ainsi été nécessaire d'acheminer rapidement sur chantier du matériel spécifique (kelly renforcé pour la foreuse, tarières progressives spéciales terrain dur, carottier à trépan...))



Figure 7 : a) rocher prélevé en fond de pieu

b) carottier à trépan (BAUER)

A titre d'information, il a été mesuré des résistances (R_c) entre 150 et 200 MPa pour le rocher « sain » prélevé en base de pieux et des modules pressiométriques proches de 500 à 600 MPa avec des pressions limites $PI > 12$ MPa

La profondeur du toit du rocher « sain » sous la route et dans le versant présentait une variation très importante le long du chantier, impliquant une adaptation de la longueur des pieux à la réalité rencontrée.

Dans un secteur, le toit du rocher « sain » n'a pas été atteint à 35m de profondeur, nécessitant des vérifications complémentaires réalisées lors des études d'exécution selon des modèles de calculs en 3D.

4.5. Autres particularités de l'opération travaux

Suite aux événements importants dans le versant qui se sont produits début 2018 (pendant la période de préparation du chantier), il a été pris la décision de prolonger la galerie après notification du marché de travaux. La gestion de ce prolongement (de l'ordre de 50 % de la longueur initiale) a été assurée par un marché complémentaire de travaux notifié durant la 1^{ère} année de travaux en vue de pouvoir mutualiser les travaux de fondations. La conception de ce prolongement a été réalisée en lien étroit avec le Maître d'Ouvrage et l'Entreprise pour permettre une bonne intégration de ces travaux supplémentaires dans un chantier déjà contraint.

Du fait de la pandémie de Covid-19 au printemps 2020, l'ensemble de l'organisation et de la méthodologie de réalisation de la dalle de couverture de la galerie a dû être repensé pour minimiser l'impact sur le cycle de réalisation ferrailage / coffrage / bétonnage.

5. Conclusions

Après six années de travaux de sécurisation de la RD 328, au lieu-dit La Ravine sur la commune de Taninges, cet important chantier du Département de la Haute-Savoie a pris fin le 22 octobre 2021.

La galerie pare-blocs, d'une longueur de 150 mètres, assure aujourd'hui la sécurité des usagers sur ce tronçon de route historiquement sujet aux éboulements. Ce chantier démontre l'importance d'une étroite collaboration entre Maître d'Ouvrage, Maître d'œuvre et Entreprise pour mener à bien ce type de projet malgré les difficultés et aléas rencontrés au cours des travaux.

Quelques chiffres clés pour illustrer l'importance de l'opération :

- 150 m de longueur de galerie, *prolongés par 20 m de piédroit amont côté Taninges*
- 77 pieux de fondation en béton \varnothing 1000 mm (cumul \approx 2 km)
- 9 350 ml d'ancrages – barres \varnothing 63.5mm
- 2 800 m³ de béton armé
- 820 tonnes d'aciers
- 12 200 m³ de remblais

Le coût total de l'opération au lieu-dit La Ravine s'élève à environ 22.6 M€ TTC.

6. Références bibliographiques

- [1] Castellonet D., Jarrin J.P., Rey E., Vignon V., Dufrechou A. – J.A.G. 2017
Diagnostic et suivi d'un mouvement de versant de grande ampleur : le glissement de la « La Ravine » en Haute-Savoie