

GLISSEMENT D'UN TALUS FERROVIAIRE A SEVRES – GESTION D'INCIDENT ET CONFORTEMENT

LANDSLIDE ON A RAILWAY TRACK IN SEVRES – MANAGEMENT AND REINFORCEMENT

Florence BELUT¹, Julien GABRIELLI¹, Maxime SOUDE², Dominique BATTISTA³

¹ SNCF Réseau, Paris, France

² NGE Fondation, Saint-Priest, France

³ CEREMA, Aix-en-Provence, France

RÉSUMÉ – La réparation du glissement du talus ferroviaire de Sèvres en février 2020 a dû relever de nombreux défis, en lien avec le contexte climatique et géotechnique mais aussi avec les contraintes ferroviaires, urbaines et sanitaires. La paroi clouée réalisée sur trois niveaux a permis de rouvrir la ligne en trois mois, avec des adaptations en temps réel et la mise en place du premier protocole de travail sous covid 19.

ABSTRACT – Reinforcement of the landslide on the national french railway, in Sèvres, faced many challenges as bad weather, poor geotechnical soils, but also restraints in access and sanitary issues. A three levels nailed wall was built, allowing to reopen the track in three months, through many adjustments and with the first sanitary protocol of the French Public Works under covid 19.

1. Introduction

Le réseau ferré national français comporte un linéaire d'ouvrage en terre conséquent (29000 km) dont une bonne part sont des ouvrages meubles (80%) parfois affectés de désordres (mouvements gravitaires, fontis, inondations...) dont certains peuvent impacter le trafic. La gestion de l'incident nécessite alors la mise en place rapide de compétences et de moyens parfois importants afin de rétablir les circulations dans un délai court. Les contraintes peuvent être géotechniques ou climatiques, ferroviaires mais aussi environnemental au sens large (accès, environnement, milieu urbain) voire sanitaires.

Le présent article est un exemple d'un glissement dont la réparation a cumulé toutes ces contraintes et montre les moyens mis en œuvre pour réussir à rétablir les circulations.

2. Le glissement

2.1. Les faits

Le 4 février 2020 au soir, suite à un automne et à un début d'hiver très pluvieux, un glissement de plusieurs milliers de mètres cube s'est produit dans un talus d'une vingtaine de mètres de hauteur (fig. 1a), au niveau d'un ancien perré (fig. 1b, photo avant incident), en sortie de tunnel (au nord) et à l'entrée de la gare de Sèvres-Ville d'Avray (au sud). Un train heurte le pied du bourrelet à 22h48 en partant de la gare en direction du nord, heureusement sans faire de victimes ni de dégâts significatifs. Le trafic est interrompu sur deux axes transiliens importants.

Le décrochement, d'une trentaine de mètres de long et d'une hauteur d'environ 5 m, est situé à 1 m de la rue en crête de talus.

Le train est dégagé le lendemain et, après une tentative de léger déblaiement de la voie par train de travaux, le glissement descend de 2 m et avance d'environ 1m sur la voie en contrebas.



Figure 1. a) Glissement de talus du 4 février 2020 - b) photo avant glissement

2.2. Historique et contexte géotechnique

Le déblai, long d'environ 150 m, après la tête de tunnel, a connu de nombreux glissements par le passé (fig. 2a), sans doute depuis la construction, dont un avant 1910 au droit de la zone glissée en 2020 (zone 4). Le talus avait été conforté par trois éperons drainants (visibles sur la figure 1) et un perré maçonné à mi-talus. Le profil conforté n'a pas été retrouvé dans les archives mais il est probable qu'il soit similaire dans son principe au profil conforté en 1913 dans la zone 6, de l'autre côté de la passerelle (fig. 2b).

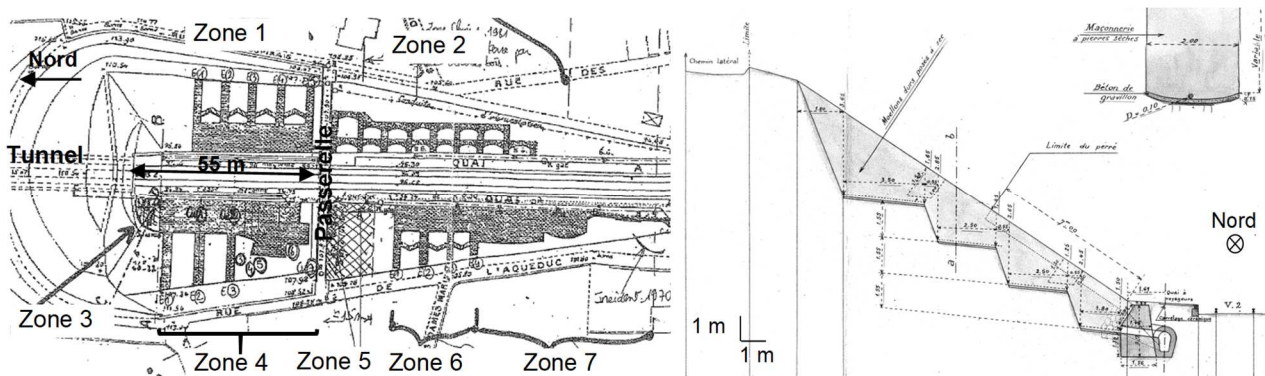


Figure 2 a) Vue en plan d'archives (1916) et b) profil conforté zone 6 (1913) – Archives SNCF

Plus récemment, la zone 4 a été l'objet de fontis au niveau du fossé de pied (1969, 1998, 2004 et 2014). Début 2001, des indices d'une réactivation du glissement ancien sont observés, sans doute suite aux intempéries successives de fin 1999 et des printemps 2000 et 2001 (fissures au niveau de la rue, déformation de l'éperon côté tunnel, légère déformation du pied du perré). Plusieurs campagnes d'investigations ont été réalisées entre 1999 et 2018 et le site a été instrumenté par inclinométrie et piézométrie en 2005 et 2018.

L'ensemble des reconnaissances indique la coupe type suivante, depuis la rue en crête située entre 112 et 110 NGF (voir coupe simplifiée figure 4 au § 4.1) : des formations de versant sur 1 à 2 m (mélange de Sables de Fontainebleau et de Marnes à huîtres) puis une fine couche d'argiles vertes, les Marnes de Pantin de 109 à 105 NGF environ puis les Marnes d'Argenteuil jusqu'à 94-94,5 NGF, tendres jusqu'à 98-98,5 NGF. En pied de talus, on retrouve les Masses et Marnes du Gypse et Infragypseuses, jusqu'à environ 4 m sous la plateforme ferroviaire puis les Calcaires de Saint-Ouen. Les couches sont légèrement pentées vers le sud d'après la coupe géologique du tunnel retrouvée dans les archives SNCF.

Du point de vue hydrogéologique, une source captée un peu à gauche de l'éperon drainant côté passerelle (visible sur la figure 1b) témoigne de l'existence d'une nappe perchée au niveau des formations superficielles, des argiles vertes et du toit des Marnes de Pantin, plus perméables que les marnes supragypseuses sous-jacentes, tandis que les

piézomètres posés en crête et à mi talus n'ont détecté qu'une nappe à 1-2 m sous le niveau de la plateforme dans les masses et marnes du gypse.

Le suivi inclinométrique a montré la présence d'une surface de rupture à 2-3 m de profondeur et une seconde surface plus profonde peu marquée. L'activité de la surface principale, faible au départ, a atteint progressivement des vitesses de l'ordre du millimètre par mois en 2018 et 2019. Des travaux de confortement étaient d'ailleurs prévus pour l'été 2020.

3. Gestion de l'urgence et organisation des travaux

Rapidement, une cellule de crise s'organise. Après expertise du site les 5 et 6 février et au vu des risques de régression, les canalisations en crête (gaz, eau potable et électricité) sont coupées et les circulations ferroviaires sont interrompues sur les deux voies car le bourrelet avance petit à petit. Un suivi topographique en continu du talus est mis en place depuis la passerelle.

L'organisation du chantier se met en place avec une équipe travaux dédiée à SNCF Réseau et la désignation de NGE Fondation pour les travaux en urgence. Des premières solutions de confortement sont imaginées : une solution par terrassement avec reconstitution par masque drainant (BE SNCF Réseau) ou une paroi clouée à plusieurs niveaux vu la hauteur du talus (BE NGE). Du fait de l'exiguïté des rues, la commune de Sèvres interdit les nombreuses rotations des camions qui auraient été nécessaires à un terrassement rapide et la paroi clouée est retenue.

A ce stade, la stratégie est de stabiliser le décrochement en partie supérieure puis de construire la paroi par clouage de haut en bas pour empêcher les régressions (enjeux des voiries et riverains en amont). Un premier planning indique déjà qu'il faudra plusieurs semaines avant de rouvrir la ligne.

Les accès se feront essentiellement par les voies, de nuit, malgré les difficultés (il faut engager les trains travaux à plusieurs kilomètres ce qui ralentit les rendements). Une partie du matériel peut néanmoins accéder par la route depuis la gare de Sèvres mais les quais gênent la descente des machines. Enfin, lors des phases travaux, le recours à la grue Kirov en pied pour gruter les engins sur le bourrelet de pied puis dans le talus est heureusement possible. Ensuite les travaux se font au moyen de pelles araignées vu la hauteur et la pente du talus. A noter par ailleurs, l'accès du personnel sur ce talus assez raide et glissant nécessite l'aménagement de pistes, escaliers et cheminement sécurisé.

4. Déroulement des travaux

4.1. Premières tentatives et adaptations suite aux évolutions de février-mars 2020

Une première phase de clouage incliné de la partie haute du décrochement est entamée le 12 février, dans l'espoir de conserver la rue et la maison (travaux d'urgence non dimensionnés). Mais le temps d'installation et les rendements ne suffisent pas à contrer les évolutions entretenues par les intempéries qui se poursuivent sans répit. Les matériaux glissés (essentiellement des marnes de Pantin) sont saturés et les sources supérieures, piégées à l'arrière du bourrelet, empêchent sa stabilisation et provoquent des régressions successives.

Le 13 février, la voie en contrebas est recouverte par le bourrelet, le 21 février, le glissement régresse en crête jusqu'à la rue (fig. 3a) et le 3 mars, celle-ci s'effondre jusqu'à la maison riveraine tandis que le glissement avance de plusieurs mètres (fig. 3b), recouvrant les deux voies. Les habitations riveraines sont évacuées.

En parallèle des travaux d'urgence, une mission G3 (conformément à la NF P 94-500) est confiée au bureau d'étude de NGE qui réfléchit aux solutions définitives envisageables en s'adaptant aux variations de géométrie de la zone glissée.



Figure 3. a) régression du 21 février b) 3 mars effondrement de la route

Dès le 24 février, une expertise conjointe par le CEREMA et SNCF Réseau conclut que le modèle géotechnique et hydrogéologique doit être modifié et que la solution de paroi clouée amont n'est pas suffisante seule pour stabiliser l'ensemble du phénomène (nécessité que la base de la paroi soit fichée dans un niveau sain) compte tenu d'un contexte de déconfinement/dissolution de gypse en pied de versant. Il faut donc en priorité bloquer le bourrelet. La solution clouage vertical par micropieux forés est retenue. L'idée est ensuite de dégager progressivement les voies en transformant ce clouage en premier niveau de paroi clouée et de rendre les circulations avant la fin des travaux.

Un pré dimensionnement est fourni le 3 mars par le CEREMA (pieux diamètre 300 mm de longueur 8 m tous les mètres) selon la méthode des modules de réactions (Baguelin et al., 1977 et Bourges et Frank, 1989) avec un objectif d'amélioration du coefficient de sécurité de 10 % par rapport à l'état endommagé, en se basant sur le guide technique de stabilisation des glissements de terrain (Sève et Pouget, 1998, Durville et al, 2010). Des reconnaissances complémentaires sont lancées pour vérifier l'état du sol support en pied.

Sans attendre le dimensionnement définitif, le clouage vertical débute le 11 mars (prétubes battus en 355 mm dans le bourrelet puis micropieux forés à l'intérieur) pendant que la partie amont du décrochement est renforcée par des clous inclinés provisoires (3 files de clous & 110 mm de 9 m, tous les 4 m²). Mais le chantier s'interrompt brutalement le 16 mars avec le premier confinement lié au covid 19. Un peu plus de 50 % des pieux sont alors réalisés. Ce temps d'interruption est mis à profit par le bureau d'étude de NGE pour réaliser le dimensionnement de l'ouvrage définitif, avec l'appui des services géotechniques de SNCF Réseau et du CEREMA pour aboutir à un consensus sur le modèle géotechnique et la géométrie de la surface de rupture dont la partie inférieure est masquée par le bourrelet. L'hypothèse la plus défavorable d'un glissement profond jusqu'en pied de talus est retenue (fig. 4).

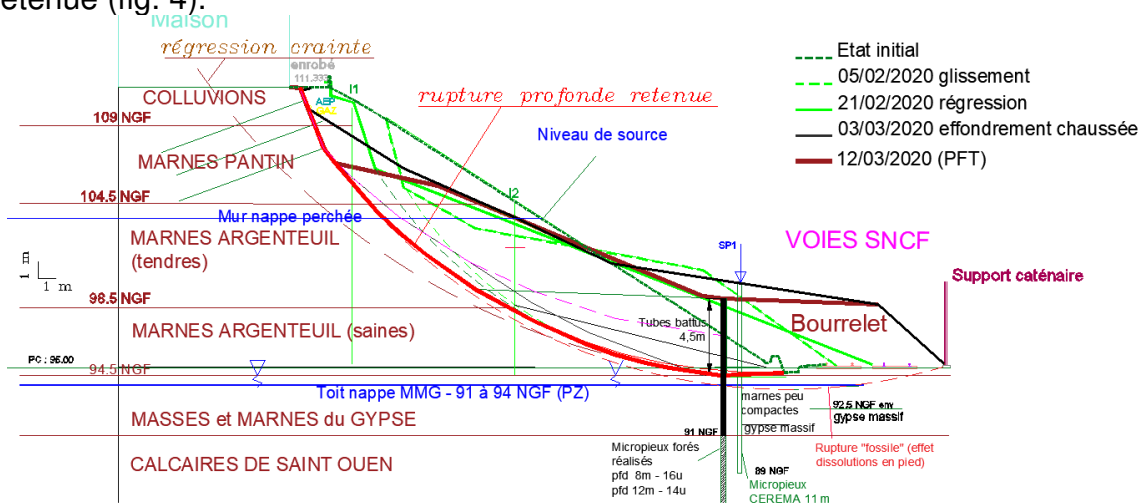


Figure 4. profil géotechnique de synthèse avec évolutions successives du glissement

Une première version de l'étude (fig. 5) propose un ouvrage définitif avec 3 niveaux de parois clouées dont deux niveaux amont et aval en écailles préfabriquées. En effet, ce dispositif permet de gagner du temps sur le dégagement des deux voies, en s'affranchissant des phases de béton projeté et des temps de séchage. Des drains subhorizontaux sont associés à ce confortement, en partie inférieure pour drainer les eaux du bourrelet de pied (pas complètement purgé), et en partie intermédiaire pour capter les eaux de la nappe perchée, la paroi amont étant drainante.

Le dimensionnement, réalisé aux Eurocodes 7 et conformément à la NF P 94-270, montre que le phasage est particulièrement délicat, avec la nécessité d'avancer en parallèle les niveaux amont et aval de paroi clouée et une attention particulière au moment de démarrer le niveau intermédiaire (coefficient de sécurité minimum dans cette zone lors des différentes phases de travaux : d'après l'indice A de la G3, selon l'approche 3, $F = 0,85$ à court terme une fois le clouage vertical achevé en partie inférieure puis $F = 0,9$ à court terme une fois les deux niveaux de parois amont et aval achevés et enfin $F > 1$ à court terme à partir de la finalisation du premier lit d'ancrage de la paroi intermédiaire).

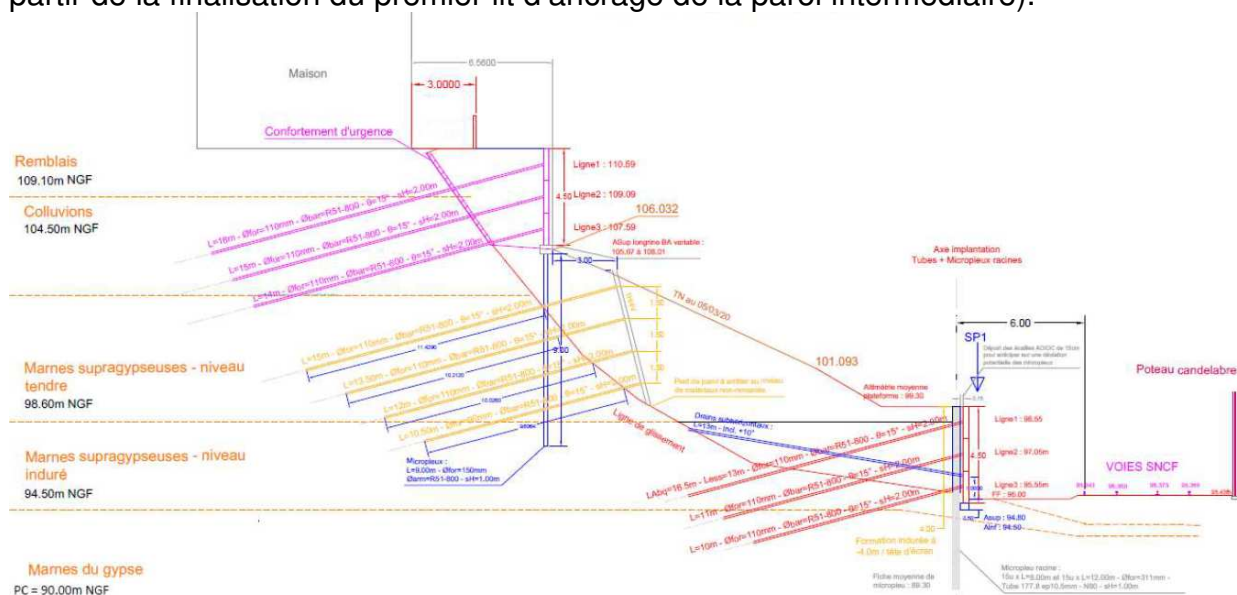


Figure 5. Profil de principe de la solution (indice A de l'étude G3 du 30 mars)

4.2 Impact du covid 19

Malgré le covid, le chantier, désigné comme prioritaire par l'Etat car impactant un axe de transport, est le premier de France à reprendre, et ce dès le 24 mars.

Un protocole sanitaire est expérimenté sur ce site, pilote en la matière. Un équilibre a dû être trouvé entre les moyens disponibles, les mesures de protection covid théoriques et leurs impacts sur les autres risques inhérents à ce type de chantier. Il a fallu gérer également le confinement sur place pendant plusieurs semaines. Aucun cas n'a finalement été répertorié pendant la durée du chantier.

La conséquence principale du protocole covid aura été essentiellement des rendements moindres et des difficultés accrues pour échanger sur les points techniques entre MOE études, travaux et entreprise, avec des réunions surtout à distance.

4.3 Poursuite des travaux et reprise des circulations

Le clouage vertical du bourrelet (fig.6) se poursuit du 24 au 28 mars 2020, sur la base cette fois de la note définitive du 18 mars transmise par le CEREMA qui préconise des pieux verticaux de 11m en diamètre 250 mm armés de tubes 177,8 mm espacés de 75 cm ou des pieux tubés de diamètre 355 mm espacés de 1 m. Les pieux restants seront finalement exécutés à 12 m de profondeur pour contrebalancer les premiers pieux un peu courts.



Figure 6. Poursuite du clouage vertical

Le 30 mars, les travaux de fondation de la paroi amont démarrent et le 1^{er} avril, le dégagement du premier niveau de matériaux à l'aval du clouage vertical débute (évacuation par trains travaux de nuit), associé à la réalisation d'un premier lit de tirants (de jour). Les travaux se poursuivent en parallèle en amont et en aval avec réalisation des clous définitifs en partie amont (fig. 7a) et des clous en partie aval, au fur et à mesure de l'avancée des terrassements. Le 21 avril, les 3 lits de clous de la paroi aval sont achevés et les voies dégagées (fig. 7b).



Figure 7. Photos du 9 avril (début des clous amont) et du 22 avril (voies dégagées)

Les pieux verticaux sont liaisonnés par lierne le temps de finir la paroi clouée aval et de solidariser l'ensemble des éléments. Le phasage est schématisé sur la figure 8.

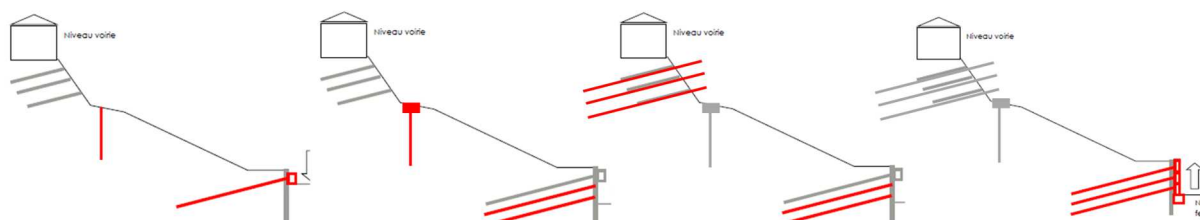


Figure 8. Phasage des travaux – parois aval et amont

Une fois les clous amont et aval réalisés, les écaillles sont ensuite montées, d'abord en partie aval puis en partie amont, tandis que les nuits sont dédiées aux travaux d'épuration de la plateforme et de repose des voies et des caténaires provisoires.

Le 4 mai, les circulations ferroviaires reprennent (fig. 9), une semaine avant le déconfinement.



Figure 9. Restitution des circulations le 4 mai 2020

A noter que si durant cette phase, le glissement se stabilise avec l'arrêt de la pluie pendant tout le confinement, on constate néanmoins quelques évolutions sur la joue droite de la cicatrice le 25 mars puis le 21 avril. Ces évolutions vont conduire à adapter la conception de l'ouvrage définitif (3 indices successifs à la première note de calcul) au niveau de la paroi intermédiaire et des parois latérales : adaptation de la géométrie, ajout d'une file supplémentaire, modification des drains subhorizontaux (fig. 10) au fur et à mesure du dégagement des matériaux glissés en partie intermédiaire, qui permet d'observer l'interface marnes de Pantin/ marnes d'Argenteuil et le niveau de source.

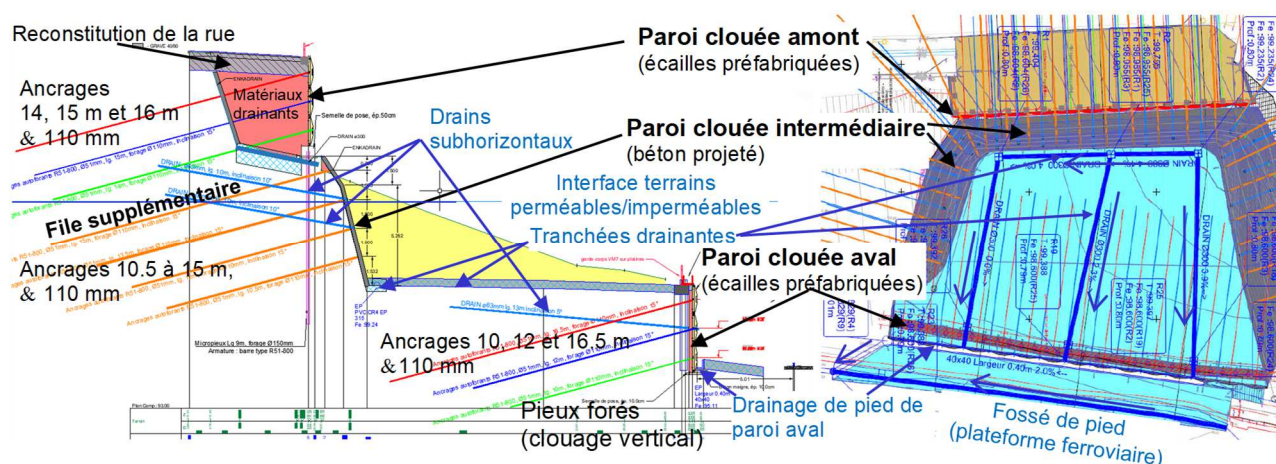


Figure 10. Profil de principe définitif de confortement (G3 ind. D)

La conception du drainage est affinée avec un système de tranchées drainantes à la base du niveau intermédiaire qui permet de collecter les eaux issues des niveaux supérieurs et de les renvoyer vers le drainage recréé en pied de paroi aval.

5. Finalisation des travaux sous circulations ferroviaire

Début mai, il reste encore à achever le niveau intermédiaire de la paroi clouée, les massifs drainants des parois amont et aval et des tranchées drainantes intermédiaires. Ces travaux nécessitent le terrassement à l'avancement des matériaux glissés en partie intermédiaire, avec un stockage provisoire mais limité en pied de talus et une évacuation de nuit par train de travaux. La paroi intermédiaire et les parois latérales se poursuivent jusqu'à début juillet puis les tranchées drainantes en pied de paroi intermédiaire sont réalisées pendant l'été, en même temps que les travaux préventifs déjà prévus et maintenus dans le reste du déblai.

Les raccordement du drainage de la paroi amont et des drains subhorizontaux aux tranchées drainantes intermédiaires, puis de ces tranchées drainantes au fossé de pied sont également réalisés. Les travaux se terminent dans cette zone début septembre 2020 (fig. 11).



Figure 11. Ouvrage achevé

6. Conclusion et perspectives

Les travaux ont été réalisés avec succès et dans un temps réduit au vu de la complexité des phénomènes géotechniques rencontrés sur le site. Ils montrent l'intérêt d'une collaboration étroite entre les géotechniciens des différentes entités (maîtrise d'œuvre, bureau d'étude associé, entreprise et son bureau interne) pour aboutir à une solution satisfaisante. La mise en place d'une organisation spécifique dédiée dès les premiers instants de l'incident a grandement contribué à la réussite de l'opération. Le covid a été l'un des défis particuliers sur ce chantier.

L'ouvrage réalisé a rejoint à présent le patrimoine Ouvrage d'Art de SNCF Réseau en termes de surveillance et d'entretien, en particulier des dispositifs de drainage dont le bon fonctionnement conditionne la pérennité de l'ouvrage.

Par ailleurs, cet incident a été une des occasions pour SNCF Réseau d'approfondir ses réflexions sur la gestion de son patrimoine géotechnique. Il illustre l'importance de la connaissance de l'historique et la part d'incertitudes inhérente à l'évaluation des risques naturels. Afin de réduire ces incertitudes, SNCF Réseau explore et met en place de nouveaux modes de détection des mouvements sur son réseau, à différentes échelles (INSAR, capteurs automatiques télégerés...), selon les enjeux et la criticité des sites, compte tenu de la taille du réseau.

7. Références bibliographiques

- Baguelin F., Frank R., Saïd Y.-H. : Etude théorique du mécanisme de réaction latérale des pieux, Bull. liaison Labo. P. et Ch. 92, nov.-déc. 1977, p. 35-58.
- Bourges F., Frank R. (1989). Fondations Profondes Techniques de l'Ingénieur, C248-249.
- Durville J.L., Magnan J.P., Blivet J.C., Pouget P., Chapeau C., Sève G., Reiffsteck P (2010). Prévention et stabilisation des glissements de terrain : conception, mise en œuvre et maintenance des dispositifs : Guide technique. Laboratoire Central des Ponts et Chaussées (LCPC), 161p.
- Norme nationale NF P 94-500 (2013)- Missions d'ingénierie géotechnique – Classification et spécifications.
- Norme nationale NF P 94-270 (2009) - Calcul géotechnique - Ouvrages de soutènement - Remblais renforcés et massifs en sol cloué.
- Sève G., Pouget P., (1998). Guide technique Stabilisation des glissements de terrain, LCPC.