

Confortement d'un mur de soutènement en maçonnerie à Angoulême - Gestion d'un incident dans un contexte ferroviaire et urbain

Strengthening of a masonry retaining wall in Angoulême – Incident management in a railway and urban environment

Guillaume NEVEU^{1*}, Bastien SAGE-VALLIER¹

1 SNCF RESEAU – Département des Ouvrages d'Art, La Plaine Saint Denis (93), France

**guillaume.neveu2@reseau.sncf.fr*

RESUME : En décembre 2023, un mur de soutènement en maçonnerie supportant une voirie urbaine en surplomb des voies ferrées à Angoulême a présenté un déversement majeur, menaçant la sécurité des circulations ferroviaires en cas d'écroulement. Des mesures conservatoires ont été déployées en urgence : le mur a été déconstruit partiellement et une paroi berlinoise a été réalisée au niveau de la plateforme ferroviaire pour sécuriser la zone. Ensuite, le mur a été conforté et repris en sous-œuvre par une paroi clouée en écailles ADOC[®]. Les travaux réalisés sous contraintes ferroviaires et urbaines ont permis de stabiliser le site, tout en intégrant des adaptations liées aux prescriptions architecturales locales.

ABSTRACT: In December 2023, a masonry retaining wall supporting an urban roadway overlooking the railway tracks in Angoulême exhibited a major tilting, threatening the safety of rail traffic in the event of collapse. Emergency conservatory measures were deployed: the wall was partially deconstructed and a soldier pile wall (berlinoise) was installed at the track level to secure the area. Subsequently, the wall was reinforced and underpinned using a soil nailing wall with ADOC[®] precast facing panels. The works, carried out under both railway and urban constraints, successfully stabilized the site while incorporating adaptations required by local architectural regulations.

Mots-clés : ouvrage d'art ; soutènement ; confortement ; paroi clouée.

1 INTRODUCTION

Le patrimoine ouvrage d'art des murs de soutènement de SNCF Réseau représente environ 20000 ouvrages, dont la majorité sont constitués en maçonnerie (70%). Ces ouvrages, souvent centenaires, jouent un rôle essentiel dans la stabilité des infrastructures ferroviaires et font l'objet d'une surveillance régulière. Elle comprend des inspections détaillées périodiques et le cas échéant des dispositifs de surveillance particulière ou renforcée selon les caractéristiques de l'ouvrage ou à la suite de découverte d'avaries. L'ensemble de la surveillance vise à évaluer l'état de l'ouvrage, à détecter toute évolution, à préconiser des opérations de maintenance, afin d'entreprendre à temps, les actions préventives ou correctives nécessaires, pour garantir la sécurité des biens, des personnes et des circulations.

Malgré ces dispositifs, certains désordres peuvent évoluer rapidement et conduire à des situations de rupture imminente. Cela nécessite des décisions techniques et opérationnelles dans des délais

contraints, en intégrant les contraintes ferroviaires, urbaines, environnementales, ou architecturales...

Le présent article est un exemple de gestion d'un incident, d'un désordre évolutif sur un mur de soutènement surplombant une voie ferrée. Compte tenu du contexte d'urgence, incompatible avec l'enchaînement des missions d'ingénierie géotechnique (NF P94-500), seule une G1 ES a été réalisée, puis une G3 dans le cadre d'une mission de conception-réalisation, confiée à l'entreprise NGE Fondations.

Après une présentation du site et du contexte historique et géotechnique, l'article détaille le diagnostic, la solution technique, quelques éléments de dimensionnement du confortement, les étapes de la réalisation du projet et le suivi actuel de l'ouvrage.

2 INCIDENT DECEMBRE 2023

Le 12 décembre 2023, la mairie d'Angoulême et les pompiers avisent la SNCF d'avaries sur le mur de soutènement et la chaussée retenue, surplombant la

voie ferroviaire, entre la sortie du tunnel d'Angoulême et le pont routier de l'avenue Jules Ferry.

Sur place, les agents de SNCF Réseau constatent un déversement structurel et un bombement du mur vers les voies ferroviaires, associés à la présence de fissures sur la chaussée, le long du trottoir du côté du mur. Compte tenu de l'apparition de ces désordres et du risque important d'effondrement du mur de soutènement avec des chutes de matériaux pouvant engager le gabarit ferroviaire, SNCF Réseau interdit la circulation sur la voie en pied la plus proche (la voie 1) et limite la circulation en marche prudente associée à une surveillance permanente sur la voie opposée (la voie 2), dans l'attente d'une expertise technique interne. En parallèle la voirie est fermée à la circulation des véhicules et des piétons.

3 PRESENTATION DU SITE

3.1 Le mur

Le site est localisé sur la ligne ferroviaire électrifiée à double voie Paris – Bordeaux (L 570 000), circulée à 160 km/h, au point kilométrique 450+670, côté gauche. L'ouvrage est un mur de soutènement poids en maçonnerie de moellons de calcaire jointoyés, reposant sur des fondations superficielles. Le mur présente une longueur d'environ 60ml, entre le tunnel et le pont routier, une hauteur maximale de 2m environ, surmonté d'un parapet de 1.2m. Le mur (Fig. 1) est situé en crête d'un déblai de 6 à 10 m de hauteur, penté à 45°, et soutient une voirie en rampe de 8°, de 5.5m de largeur (avec trottoirs), puis des habitations et jardins.



Figure 1. Configuration du site

3.2 Historique

SNCF Réseau ne dispose pas d'archive sur cet ouvrage (épaisseur et niveau d'assise du mur). Il a certainement été réalisé lors de la création de la ligne, vers 1850, puis a vraisemblablement été modifié, réhaussé dans le cadre de l'évolution des conditions d'exploitation de la route.

Le déblai est constitué par des calcaires argileux et des marnes du Turonien inférieur (carte géologique

1/50000^{ème} d'Angoulême n°708). La fiche signalétique du tunnel précise que l'interface entre ces deux couches, à la sortie de l'ouvrage, est située au niveau de la voute, soit à environ 4m de hauteur par rapport à la plateforme ferroviaire. Une source est localisée sur le rampant de talus, à mi-hauteur et à mi-distance entre la tête de tunnel et le pont routier.

Le site a déjà fait l'objet d'instabilités par le passé. En 2004, un glissement de terrain s'est produit en pied du quart de cône, entre la tête de tunnel et le déblai, sur une hauteur de 4m environ. L'analyse de cet incident avait mis en évidence une rupture au niveau de l'interface lithologique entre le banc calcaire et les marnes sous-jacentes. Cette instabilité était directement corrélée à des venues d'eau massives, provoquées par la rupture d'une canalisation d'eau située en crête de déblai, dans l'emprise ferroviaire. Le talus a été conforté par un masque de confortement. Cet antécédent souligne la sensibilité du versant aux sollicitations hydrauliques et confirme la présence d'un contact géologique fragile.

3.3 Surveillance du mur

La surveillance de l'ouvrage met en évidence la présence d'une végétation rampante relativement dense sur le mur qui nécessite des opérations de débroussaillage régulières, pour pérenniser l'ouvrage et permettre de bonnes conditions d'inspection. Depuis les années 2010, le mur se dégrade progressivement (Fig. 2), avec du disjointoiement profond, une perte de liant (joints sableux), l'apparition d'un léger déversement et des défauts d'assainissement liés à l'absence de barbacane. La présence et le maintien du bon état des dispositifs de drainage conditionnent la pérennité de l'ouvrage.



Figure 2. Etat du mur en 2021

Bien qu'un léger déversement ait été détecté lors des suivis, celui-ci ne présentait pas d'évolution cinétique significative jusqu'en 2023. Toutefois, l'état de dégradation générale avait conduit à préconiser des travaux de confortement préventif. La concrétisation du projet a cependant été retardée par des

problématiques foncières, l'ouvrage marquant la limite de responsabilité entre le domaine public ferroviaire (SNCF Réseau) et le domaine communal, ce qui a complexifié la définition du montage technique et financier des réparations.

4 MESURE CONSERVATOIRES D'URGENCE

Dès la découverte des avaries sur le mur, une cellule de crise s'organise à SNCF Réseau, associant le mainteneur local (l'Infrapôle Poitou-Charentes) et les appuis techniques (le Pôle Etudes & Ingénierie de Bordeaux et le Département des Ouvrages d'Art) pour prendre en charge l'affaire. L'ouvrage est surveillé en permanence, avec le suivi du déversement du mur, de l'ouverture des fissures et l'affaissement de la chaussée. En complément, un suivi topographique en continu du mur de soutènement et des habitations le long de la voirie est mis en place.

Les évolutions sont de l'ordre du centimètre par jour. Aucun mouvement n'est constaté sur les habitations. Les réseaux enterrés de la voirie sont recensés et inspectés, aucune avarie n'est détectée. Après cinq jours, l'affaissement de la chaussée atteignait 25 cm (Fig. 3). La stabilité du mur a alors été jugée critique, interdisant toute intervention humaine directe à son contact (pose d'ancrages d'urgence de type croix de Saint-André par exemple) en raison d'un risque d'effondrement imminent.



Figure 3. Déversement du mur et affaissement

A partir du 18 décembre, le parapet et 0.75m du mur sous la chaussée sont démolis. Des sacs de type « big-bag » remplis de ballast sont mis en place sur la piste, sur 2 à 3 niveaux, pour créer une capacité de réceptacle provisoire d'éventuelles chutes de parties résiduelles du mur. Ces dispositions ont permis de garantir un niveau de sécurité suffisant pour autoriser la réouverture des circulations ferroviaires à 30 km/h sur la voie 1, le 21 décembre, permettant un minimum

de continuité du trafic pour la fin d'année, période de forte exploitation.

5 INVESTIGATIONS GEOTECHNIQUES ET DIAGNOSTIC DU SITE

En début 2024, une campagne de reconnaissances géotechniques (G1 ES) a été réalisée au niveau de la voirie, pour préciser le contexte géotechnique à l'arrière du mur et au niveau du déblai. Cette campagne a consisté en la réalisation de :

- 2 sondages carottés et 2 sondages pressiométriques de 15 et 20m de profondeur,
- 6 essais d'identification GTR complète,
- 6 essais triaxiaux CU+U.

Les investigations ont révélé la succession lithologique suivante, marquée par la présence d'une nappe au sein des remblais argilo-sableux (Tab. 1) :

- 1m de remblai lié à la voie (R1),
- 2.5m de remblai argilo-sableux à graves (R2),
- 2 à 6 m de calcaire altéré,
- 5 à 8m de marno-calcaire compact.

Tableau 1. Paramètres géotechniques

Lithologie	R1	R2	Calcaire	Marno-Calcaire
Pression limite Pl^* (MPa)	0,1	0,7	1,6	4,8
Em (MPa)	2,3	13,0	35,0	250,0
Coeff. rhéologique α	0,5	0,5	0,5	0,5
Poids volumique γ (kN/m ³)	18	18	21	23
Cohésion drainée c' (kPa)	2	4	15	20
Angle de frottement drainé Φ' (°)	25	27	27	30
qs (kPa)	0	40	50	170

Un relevé topographique du site a été effectué.

L'expertise sur site, les investigations réalisées, et l'analyse de l'historique ont permis d'établir un diagnostic de l'incident (Fig. 4). Bien qu'aucun événement pluviométrique majeur n'ait été enregistré avant l'incident, la rupture de stabilité provient d'une conjonction de facteurs aggravants :

- La dégradation progressive du mur (joints / déversement), le défaut de travaux de régénération (rejointoiement, ancrages), l'absence de barbacanes dans un contexte hydrologique défavorable (nappe haute, avec la présence d'une ancienne source dans le secteur et de puits dans les jardins).
- L'évolution au niveau de la voirie (chaussée réhaussée, intégration de réseau) qui a augmenté la sollicitation sur le mur.

- La présence de sols aux caractéristiques moyennes à médiocres en assise de mur (poinçonnement).

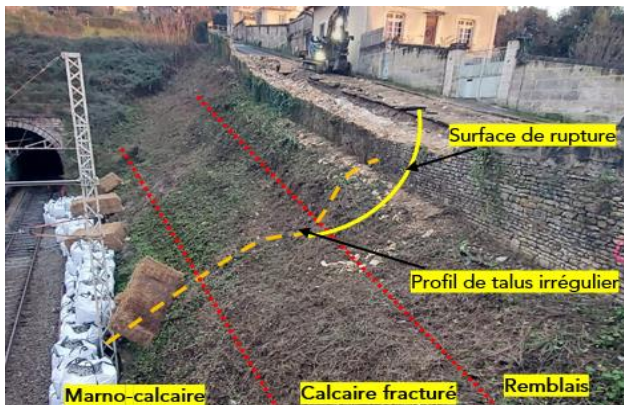


Figure 4. Synthèse du diagnostic géotechnique

6 PROJET

6.1 Les techniques envisageables

L'objectif du projet est de stabiliser le mur résiduel instable, de reprendre en sous œuvre une partie des remblais situés sous l'assise de mur et de conforter le talus, dont le profil est irrégulier notamment sur la moitié supérieure. La reprise en sous-œuvre intégrale des remblais n'a pas été retenue, car elle aurait engendré des contraintes techniques pendant les travaux, notamment vis-à-vis du bâti environnant et aurait occasionné une hauteur importante de l'ouvrage.

Plusieurs solutions sont analysées :

- Un mur béton coulé en place ou préfabriqué reposant sur des micropieux,
- Une paroi clouée en béton projeté,
- Une paroi clouée en écailles ADOC®.

6.2 La solution technique

L'entreprise NGE Fondations est désignée pour un marché de conception et réalisation du projet de confortement. Un modèle géotechnique partagé et un dimensionnement concerté ont permis d'aboutir à un consensus technique entre SNCF Réseau et NGE Fondations. Le projet doit générer le moins de nuisances pour les riverains. Les solutions de type murs ont été écartées en raison de la nécessité de réaliser une fouille en présence de réseaux enterrés, d'assurer le blindage à proximité des habitations et de ne plus pouvoir maintenir un accès suffisamment large aux riverains. Finalement, la solution retenue est une paroi en écailles ADOC®. Ce système bénéficie d'un retour d'expérience positif, ayant déjà été déployé en urgence sur plusieurs sites du réseau ferroviaire.

Le projet de confortement comprend une paroi de 3m de hauteur, composée de 2 niveaux d'écailles ADOC® (2.00 x 1.50 x 0.25 m : l x h x ép.) préfabriquées en béton au droit du mur et un clouage incliné sur le talus pour stabiliser le déblai (Fig. 5).

Le phasage du projet comprend la mise en place d'une micro-berlinoise devant le mur résiduel côté talus, pour permettre l'excavation de la crête de talus et la pose d'une longrine de calage. Ensuite, la réalisation des ancrages et la pose des écailles. Un clouage incliné est réalisé sur le talus. Enfin, un revêtement est posé sur les écailles, le parapet est reconstitué, et la voirie est restaurée. Il est envisagé de recouvrir les écailles par une matrice préfabriquée de moellons pour une meilleure intégration architecturale du projet.

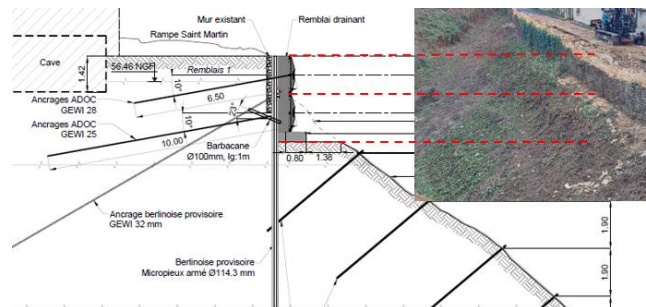


Figure 5. Profil en travers du confortement

6.3 Dimensionnement

Le projet est modélisé et dimensionné à l'aide du logiciel TALREN®. Bien que l'ensemble des vérifications réglementaires ait été effectué (études sismiques, différentes approches de calculs...), seules les configurations les plus critiques sont détaillées ci-après.

L'analyse de la situation avant travaux, basée sur le profil géotechnique de synthèse, confirme l'instabilité du site avec un coefficient de sécurité de 0.85 en approche unitaire (Fig. 6a). Les calculs de stabilité sous combinaisons fondamentales démontrent l'efficacité de la paroi en écailles ADOC® :

- Stabilité de la paroi seule : Un coefficient de sécurité de 2,24 est obtenu pour la structure de soutènement isolée.
- Stabilité incluant les remblais résiduels : En tenant compte de l'épaisseur d'environ 1,0 m de remblais non repris sous l'assise (et sans l'apport du clouage incliné), le coefficient s'établit à 1,02 (Fig. 6b).
- Stabilité globale (grand glissement) : En intégrant la paroi clouée et le clouage incliné du talus, le coefficient de sécurité atteint 1,58. Ce résultat est jugé satisfaisant et conforme aux

exigences de SNCF Réseau pour ce type d'ouvrage.

En complément, une vérification est faite sur la stabilité interne des éléments de la paroi, au niveau de la tension de service de chaque ligne de clou (inférieure à 200 kN à ELU) et de la pression exercée sur le parement des 2 niveaux d'écaillés.

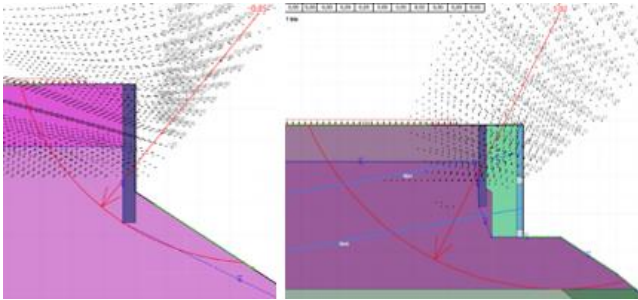


Figure 6. a) stabilité initiale : 0.85 - b) stabilité globale paroi : 1.02

7 TRAVAUX

7.1 Préparatifs

Le projet s'organise progressivement sur le plan technique des travaux et sur le déroulement du chantier, en obtenant les conventions tréfonds, les autorisations d'occupation du domaine public, la gestion des riverains et des réseaux enterrés (coupure et déviation). En parallèle, des échanges ont lieu avec les Architectes des Bâtiments de France (ABF) car le mur est situé dans un périmètre de patrimoine protégé. Le projet est donc soumis aux recommandations techniques sur l'intégration architecturale et le choix des matériaux. Le projet est également soumis à des contraintes calendaires spécifiques, en raison de la programmation du festival de la BD à Angoulême fin janvier, du passage de la flamme olympique sur la commune en mai, et du contexte organisationnel lié aux Jeux Olympiques 2024, mobilisant fortement SNCF Réseau sur d'autres engagements localement.

Compte tenu des contraintes identifiées relativement tôt, la réalisation des travaux et la restitution de la vitesse normale avant juin ne semblent pas envisageables. En contrepartie, les « big-bag » en pied ont été substitués par une paroi berlinoise (Fig 7) pour protéger davantage les circulations ferroviaires pendant le chantier, et permettre d'augmenter la vitesse des circulations ferroviaires à 100 km/h sur la voie 1 et 160 km/h sur la voie 2.



Figure 7. Paroi berlinoise

7.2 Accès et matériel

L'accès au chantier se fait uniquement par la voirie, de largeur réduite, suite à la démolition d'une partie du mur et de la voirie. Cette configuration impose un déport important pour s'éloigner de la zone instable en crête de mur. Pour prendre en compte ces contraintes, une pelle de 20T sur chenille est utilisée et équipée d'une glissière de forage pour réaliser les travaux de micro-berlinoise et de paroi clouée. Elle est associée à une nacelle araignée de 23m pour l'aide foreur. Les travaux de clouage incliné sont réalisés par du personnel cordiste et un chariot de forage.

7.3 La micro-berlinoise provisoire

Après une validation technique et administrative du projet, les travaux commencent début juillet 2024 par la mise en œuvre d'une micro-berlinoise qui permet de sécuriser les terrassements. Elle n'est pas prise en compte dans le calcul de stabilité finale de la paroi clouée. Elle est constituée de micropieux armés de diamètre 250mm et de 10m de hauteur, espacés de 1.30m (Fig. 8). L'armature est constituée d'un tube métallique de diamètre 114mm et de 7mm d'épaisseur. Le parement est constitué de micropieux sécants non armés de diamètre 250mm et de 4m de hauteur, mis en œuvre selon une méthode de "pianotage" pour garantir la continuité de la paroi. Le dispositif est complété par une ligne d'ancrages de diamètre 180mm et de 14m de longueur, équipés de barres de type Gewi 40mm, et associés à une lierne constituée de 2 HEB 120. Une fois l'ouvrage de tête stabilisé, le terrain est décaissé sur 2m de hauteur en crête de déblai (Fig. 9). En complément, des barbacanes de 1.5 ml sont intégrées à mi-hauteur et en pied pour traverser les pieux sécants et l'épaisseur de mur résiduel, pour drainer les terrains à l'arrière du confortement. Des repères topographiques ont été ajoutés sur la micro-berlinoise pour suivre sa stabilité après le décaissement.

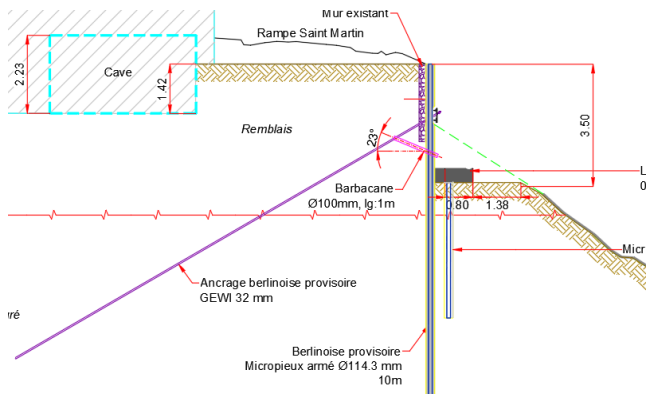


Figure 8. Profil de la berlinoise



Figure 9. Forage et terrassement

7.4 La paroi clouée

Le projet initial prévoyait la mise en œuvre d'un revêtement préfabriqué à aspect moellons pour recouvrir les écaïlles ADOC© (Fig. 10). Cette solution présentait l'avantage d'une exécution rapide et d'une descente de charge limitée, supportée directement par les écaïlles. Toutefois, lors de la phase de réalisation, les Architectes des Bâtiments de France ont rejeté l'usage du préfabriqué au profit d'une reconstruction traditionnelle du parement et du parapet en moellons de pierre naturelle. Cela occasionne d'élargir la longrine d'assise de calage des écaïlles, en passant de 0.40 m à 0,80 m de large, pour tenir compte de l'épaisseur des moellons. Par ailleurs, la majeure partie du poids du revêtement s'appliquera désormais sur la longrine et non sur les écaïlles. Quelques micropieux ont été réalisés sous la longrine, pour assurer sa stabilité.

En septembre 2024, le premier niveau d'écaïlles est réalisé avec un ancrage de diamètre 180mm et de 10m de longueur, puis le second niveau d'écaïlles avec un ancrage de 6.5m de longueur (Fig. 11). Ces ancres sont équipés respectivement d'une barre Gewi 25 et 28mm.

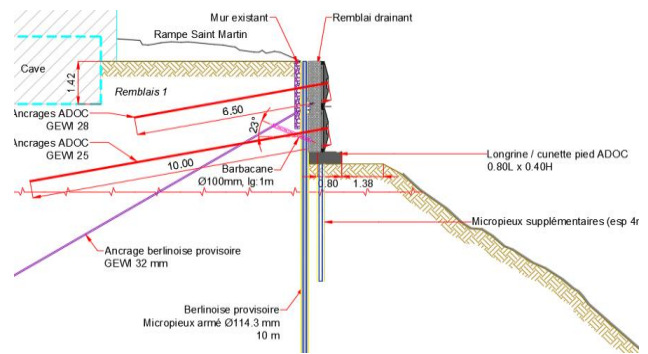


Figure 10. Profil de la paroi clouée



Figure 11. Pose des écaïlles

7.5 Le clouage incliné

La stabilité du talus est assurée par le clouage incliné (Fig 12), composé de 4 niveaux d'ancrages espacés de 4m. Les ancres de diamètre 90mm et de 5ml sont équipés d'une barre Gewi 25mm. Le parement est un grillage câblé ELITE® composé d'un grillage double torsion de maille 100x120mm et de fil de 2.7mm, combiné à un maillage de câbles et des platines de jonctions pour transmettre les efforts aux ancres.

En octobre 2024, avant de réaliser cette opération, le talus est débroussaillé, purgé des cuttings de forages et chutes de moellons du mur puis décapé, pour optimiser le plaquage du grillage sur le rampant. Une natte coco pré-ensemencée est insérée sous le grillage pour éviter les phénomènes de ravinement suite à la mise à nu du talus, et pour favoriser une reprise homogène de la végétation.



Figure 12. Clouage incliné

7.6 Le revêtement des écailles

A partir de novembre 2024, un revêtement en moellons (Fig. 13) de 25 cm d'épaisseur est mis en place devant les écailles (Fig. 14), et repose sur le débord de la longrine. Il est également plaqué sur les écailles par du mortier et à l'aide de chevilles (4 u/m²). Ces chevilles sont scellées dans les écailles, puis des fils métalliques sont attachés et noyés dans un lit de joint au mortier du revêtement. Ensuite le parapet reposant sur les écailles est reconstruit. Cette opération longue a nécessité la mise en place d'un échafaudage. Enfin, la berlinoise de pied est démontée et la vitesse des circulations ferroviaires reprend à 160 km/h en début 2025.

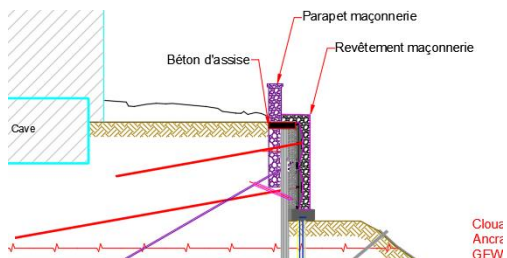


Figure 13. Profil du revêtement et du parapet



Figure 14. Revêtement en moellons avec réservation

8 SUIVI DE L'OUVRAGE

Les données relatives à la conception et à la réalisation de l'ouvrage (dossier des ouvrages exécutés) sont intégrées à la base de données numérique du patrimoine ouvrage d'art, pour tracer l'archivage de l'opération. L'ouvrage d'art est désormais assimilé à une paroi clouée, et intégré au patrimoine de SNCF Réseau en termes de surveillance et de maintenance (Fig. 15).

Dans ce cadre, un suivi topographique de l'ouvrage est réalisé, à l'issue de sa construction, puis trimestriellement la première année. Ensuite le pas de mesure sera adapté en fonction de l'analyse du comportement de l'ouvrage, mais sera maintenu au minimum une fois par an. Ce suivi a pour objectif de contrôler la stabilité de l'ouvrage composé de tirants et d'un revêtement complexe. Pendant la mise en œuvre progressive du revêtement, des repères topographiques ont été scellés aux écailles et sur des moellons, pour suivre de façon différenciée la stabilité des deux parements. Les premières mesures mettent en évidence une stabilité de l'ouvrage.

Les différents confortements réalisés en écailles, généralement dans le cadre de travaux d'urgence, présents dans le patrimoine ouvrage d'art de SNCF Réseau ne sont pas recouverts. Dans ce projet, la conception est innovante, avec un parement en moellons, mais ne permet pas l'inspection des écailles et les têtes d'ancrage. Cette solution a été partagée entre les différents services de maintenance de SNCF Réseau. Des réservations ont été intégrées pour accéder à certaines têtes d'ancrage.

Initialement, le mur de soutènement ne disposait pas de dispositif de drainage. Des barbacanes ont donc été mises en œuvre dans l'ancien mur. Les eaux peuvent s'écouler à travers les écailles au niveau de leurs angles inférieurs. Des barbacanes ont été intégrées dans le revêtement pour assurer la continuité des écoulements.

L'ouvrage a été dimensionné en tenant compte de la corrosion potentielle des armatures métalliques, en fonction de l'agressivité des sols pour une durée d'exposition de 100 ans. Des témoins de durabilité ont été insérés en crête de talus pour suivre l'évolution de la corrosion au cours du temps.

Enfin, pour faciliter l'inspection de l'ouvrage, un ancien accès sur la voirie a été réhabilité, et une ligne de vie a été installée le long de la paroi.



Figure 15 . Ouvrage terminé

9 CONCLUSIONS

Face à l'instabilité majeure constatée en décembre 2023, la réactivité des équipes de SNCF Réseau a permis de sécuriser le site puis de restaurer la pérennité de l'ouvrage. La solution technique retenue est une réponse innovante et encore peu commune dans le contexte ferroviaire pour des ouvrages anciens en état de ruine. Elle a démontré sa pertinence en conciliant des contraintes techniques importantes, une logistique complexe et des exigences architecturales fortes.

Cet exemple illustre l'intérêt de réaliser les travaux de confortement de façon préventive, anticipé et préparé, plutôt que corrective, plus coûteux, plus long et complexe à mettre en œuvre, et générant des risques pour les circulations ferroviaires et des gênes pour les riverains.

Depuis plusieurs années SNCF Réseau développe une base de données dédiée au recensement, à l'archivage et au suivi des actions sur les ouvrages d'art. Enfin, dès que nécessaire les ouvrages sont instrumentés par des solutions classiques, et en parallèle, de nouvelles techniques de suivi sont expérimentées (capteurs automatiques, LiDAR) pour détecter au plus tôt les évolutions d'avaries.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

AFNOR, NF P 94-500 (2013). Missions d'ingénierie géotechnique – Classification et spécifications.

AFNOR, NF P 94-270 (2020). Remblais renforcés et massifs cloués.

LCPC (1998). Stabilisation des glissements de terrain, Guide technique.

CFMS (2020). Tirants d'ancrage TA 2020, Règles professionnelles.