

Suivi des convergences durant l'excavation mécanisée d'une formation sensible : cas des calcschistes de la galerie du tunnel routier du Fréjus

F. Col, *Gascogne Génie Civil, Montréal-la-Cluse, France*

JP. Novel, *SEA Consulting, Turin, Italie*

E. Frédéric-Moreau, *Razel-Bec, Saclay, France*

A. Bochon, *Systra, Paris, France*

Résumé

Le tunnel routier du Fréjus, qui relie la France (Modane) et l'Italie (Bardonecchia), monotube long de 13 km inauguré en 1980, a été creusé dans les Schistes Lustrés de la zone Piémontaise. Pendant les travaux, cette formation géologique fortement litée avait montré des convergences de plusieurs dizaines de centimètres dans certains secteurs. Aussi, en vue du creusement de la galerie de sécurité à 50 mètres du tunnel, celui-ci a été équipé d'un système de surveillance automatique afin de détecter d'éventuelles convergences sans avoir à intervenir dans l'espace trafic. La galerie elle-même étant creusée au tunnelier avec revêtement préfabriqué dans un terrain potentiellement très convergent, il a été nécessaire de mesurer la déformation du terrain autour de la machine et la convergence du revêtement le long du train suiveur dès la pose des anneaux de revêtement. Cet article présente les différentes techniques qui ont permis de réaliser ces mesures.

Abstract

The 13km-long Frejus highway tunnel, at the French-Italian border linking Modane to Bardonecchia, was inaugurated in 1980. This single tube was excavated through the schistose formation of the "Piémontaise" zone characterized by a strongly layered schistosity almost parallel to the tunnel axis. During the excavation, the rock mass showed a highly deformable behaviour which recorded convergences ranging between 15 and 60cm in diameter in some areas. In view of the excavation of a safety tunnel at a distance of 50 meters from the highway tunnel, in order to detect convergences without traffic disturbances, an automatic monitoring system was used to survey the tunnel. While the safety tunnel was being excavated by a single shield hard-rock TBM and lined with precast concrete rings through a rock mass with high potential convergences, it was important to measure the convergence of the rock mass in order to know the implications for the shield and the rings as quickly as possible. This article summarizes the methods of monitoring used on the safety tunnel and the highway tunnel.

Suivi des convergences durant l'excavation mécanisée d'une formation sensible : cas des calcschistes de la galerie du tunnel routier du Fréjus

F. Col, *Gascogne Génie Civil, Montréal-la-Cluse, France*

JP. Novel, *SEA Consulting, Turin, Italie*

E. Frédéric-Moreau, *Razel-Bec, Saclay, France*

A. Bochon, *Systra, Paris, France*

1 PRESENTATION DE L'OPERATION

Le tunnel routier du Fréjus a été inauguré en 1980, situé entre les villes de Modane en France et de Bardonecchia en Italie, il permet au tronçon de l'autoroute E70 qui joint Chambéry et Turin de franchir le cœur de la chaîne des Alpes. Il est géré par deux concessionnaires, la Société Française du Tunnel routier du Fréjus pour la partie française et la Societa Italiana del Traforo Autostradale del Frejus pour la partie italienne. L'ouvrage est un monotube à circulation bidirectionnelle de 13 km de longueur, équipé de gaines de ventilation pour l'air frais et l'air vicié situées au-dessus de l'espace trafic. La dalle de séparation est appuyée dans des engravures des piédroits.

Les travaux en cours sont destinés à mettre le tunnel en conformité avec la Directive 2004-54-CE sur la sécurité des tunnels du réseau routier transeuropéen. Ils consistent à créer une galerie parallèle au tunnel et 34 rameaux de connexion avec abris pour les usagers. Conçue au départ comme une galerie de sécurité, elle sera en définitive mise en circulation afin d'améliorer notablement la sécurité des usagers, en particulier en supprimant le risque de choc frontal. Elle accueillera la voie de circulation du sens Italie - France alors que le tunnel actuel sera utilisé pour le sens France - Italie.

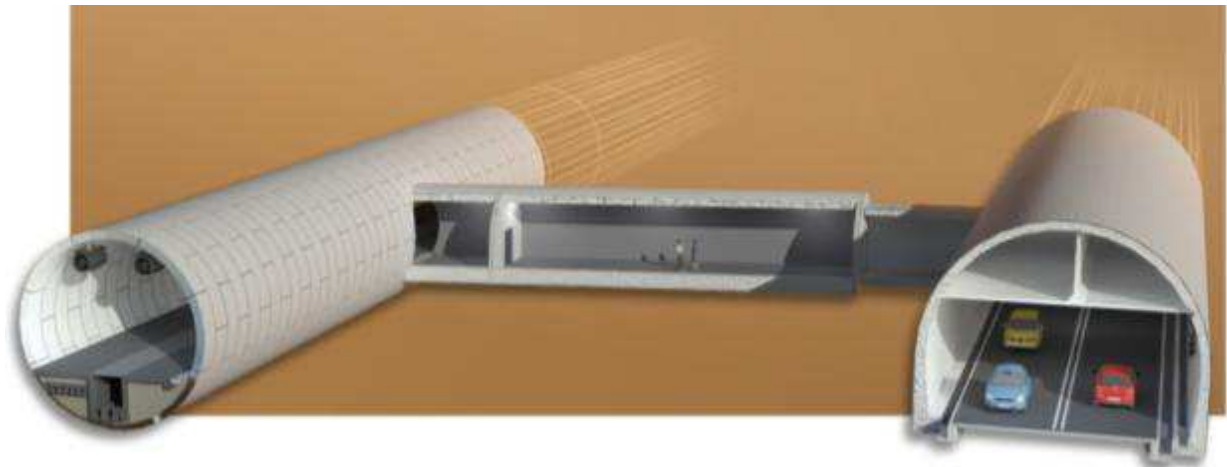


Figure 1 – Les abris sont logés dans les rameaux de connexion entre le tunnel (à droite) et la galerie en construction (à gauche)

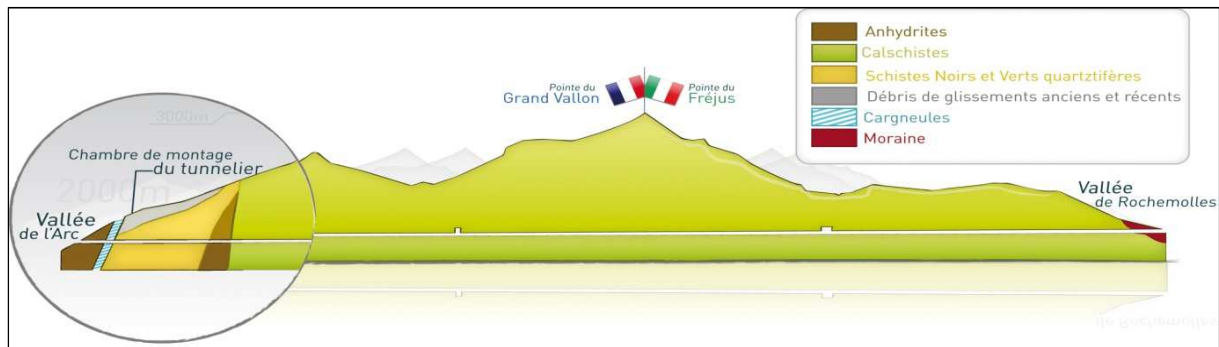
La galerie est creusée au tunnelier à 50 m de distance entre axes du tunnel de manière à limiter son incidence sur l'ouvrage existant. En effet, dans plusieurs secteurs l'excavation du tunnel à l'explosif avait rencontré d'importantes difficultés à cause de la forte schistosité de la roche, avec des déformations de plusieurs dizaines de centimètres malgré une forte densité de boulonnage. Ces déformations ont été suivies depuis la mise en service du tunnel, elles montrent que pour quelques auréoles de mesures dans les secteurs où avaient été observées les convergences les plus importantes lors de l'excavation, ces convergences ne sont pas vraiment stabilisées plus de trente ans après la construction de l'ouvrage. Il semblait par contre que le tunnelier, grâce à une méthode d'excavation moins agressive que l'explosif et du fait de la section circulaire, présentait un avantage vis-à-vis des perturbations engendrées dans l'équilibre du massif rocheux et provoquerait des convergences moindres.

Son exposées ci-après les méthodes d'auscultation utilisées sur le lot 1 de génie civil côté France qui s'étend de la tête nord jusqu'au PM 6495. Au moment de la rédaction de cet article, le tunnelier approche du PM 10 000, les 17 rameaux côté France ont été mis en service.

2 CONTEXTE GEOLOGIQUE ET GEOTECHNIQUE

Le tunnel routier et la galerie de sécurité étant distants de 50 m, les principales caractéristiques géologiques sont donc très similaires pour les deux ouvrages, même si la complexité du contexte structural peut entraîner quelques variations.

2.1 Contexte géologique



En se basant sur les observations effectuées dans le tunnel, on identifie trois unités stratigraphiques (Figure 2). Il s'agit, du nord (France) au sud (Italie), des zones Briançonnaise externe et Piémontaise, séparées par la zone des Gypses. La Zone Piémontaise (ou Zone des Schistes Lustrés) constitue l'essentiel du tracé. Il s'agit d'une séquence de calcschistes d'âge vraisemblablement Crétacé, fortement lités, d'origine continentale (sans ophiolites océaniques) présentant une certaine variabilité lithologique, avec des faciès essentiellement marmoréens, mais aussi phylliteux et lités.

2.2 Contexte structural

Au niveau du tunnel routier, et en direction de l'Italie, la schistosité des calcschistes est orientée subparallèlement à l'axe de l'ouvrage en secteur français (immersion moyenne vers l'W), et légèrement oblique (immersion moyenne vers le NW) côté italien. Elle est générale, et définie par l'iso-orientation des lits submillimétriques riches en phyllosilicates (mica blanc et chlorite), plus ou moins graphiteux. Cette schistosité est l'élément essentiel du contexte structural. D'autres éléments (diaclasses, fractures) sont également présents, mais leur impact sur le creusement du tunnel routier a été moindre.

2.3 Données géotechniques

Les essais géotechniques ont montré une forte anisotropie des paramètres géomécaniques des calcschistes (par ex. leur résistance à la compression varie de 50 à 150 MPa), due essentiellement à la schistosité et accentuée localement par la présence abondante de matériels phylliteux et d'intercalations graphiteuses entre les lits. Cette présence provoque un amoindrissement important de l'angle de frottement le long des plans de schistosité, créant ainsi des zones de faiblesse. Le percement du tunnel, puis celui de la galerie, ont donc mis en évidence une forte tendance des calcschistes à développer des phénomènes de rupture (flambement) localisés entre la calotte et le parement W (à environ 2h), c'est-à-dire en direction perpendiculaire à la schistosité (Figure 3).

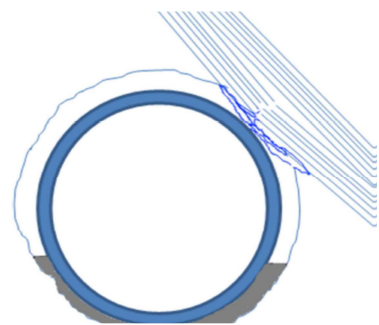


Figure 3 - Représentation du flambement des calcschistes lors de l'excavation au tunnelier

Ce phénomène a été dans certains secteurs si rapide qu'il s'est traduit lors du passage du tunnelier par une réduction, voire un comblement du vide autour de la jupe du bouclier par des écailles de roche dans le quart supérieur droit. En partie gauche par contre, le vide restait présent, montrant la roche découpée par les molettes (Figure 4). Cette rupture par flambement s'est manifestée sur une grande partie du tracé, quelquefois sur le bouclier voire très près de la roue de coupe, avec dans ce cas une augmentation importante du frottement, plus généralement sur les voussoirs. Les amas d'écailles comblant localement le vide annulaire créent ainsi un contact entre le rocher et les voussoirs (Figure 5), contact qui transmet directement la poussée du terrain par une pression localisée.



Figure 4 - Vues du vide annulaire par les trappes de visite du bouclier (à 4,20 m du front) dans le quart supérieur gauche (photo de gauche) et dans le quart supérieur droit (photo de droite)

Cette forte anisotropie structurelle des Schistes Lustrés liée à la schistosité se retrouve dans les mesures de convergences du tunnel. La convergence maximale est ainsi enregistrée selon une corde suborthogonale à la schistosité. Les données historiques donnent des valeurs atteignant 20 à 25 cm entre les PM 6 800 et 8 300 (de 1500 à 800 m de couverture), et 20 à 45 cm dans deux secteurs, entre les PM 1 700 et 2 000 (840 m de couverture) et 4 500 et 5 300 (1 300 m de couverture). L'importance de cette convergence, développée rapidement après l'excavation, augmente globalement avec la couverture. Toutefois, elle est amplifiée par la présence de matériels phylliteux et surtout de lits graphiteux.

3 OBSERVATION DU COMPORTEMENT DU TERRAIN

Sur la base du retour d'expérience du tunnel et des convergences observées lors de son creusement, le risque majeur du chantier était le coincement du bouclier à cause de la convergence du terrain. Il était donc fondamental non seulement de donner à la machine une forte conicité et une capacité de poussée importante, mais il fallait également pouvoir observer et mesurer le comportement du terrain. C'est pourquoi le tunnelier a été doté de dispositifs de surveillance et d'observation : le bouclier est équipé en partie supérieure de 8 vérins radiaux pour mesurer la distance jusqu'au rocher et sa convergence éventuelle (Figure 4). De plus, des trappes permettent l'observation du terrain à mi longueur du bouclier.

Sur le graphique ci-dessous on peut lire les mesures des vérins pour les anneaux 300 à 1 700, soit les PM 1 180 à 2 620, à 11h et 13h. On constate que du côté droit du tunnelier (courbe rouge), le terrain est très perturbé et parfois au contact du bouclier. Au contraire côté gauche (courbe bleue) le terrain n'est pas convergent. Les paliers de cette courbe correspondent aux zones sans et avec surcoupe (augmentation de 10 cm du diamètre de coupe entre les anneaux 500 et 1 200).

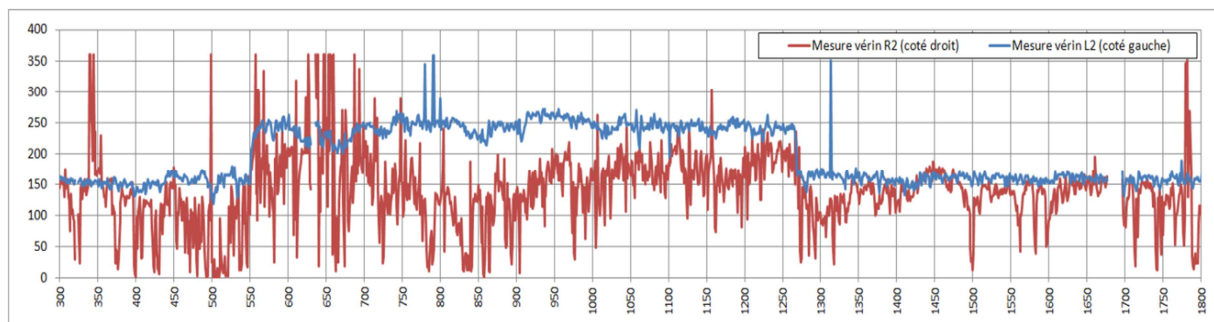


Figure 5 - Mesure des distances terrain – bouclier [mm] pour les anneaux 300 à 1 800



Figure 5 – Ecailles de calcschistes accumulées entre le rocher (en haut à gauche) et le revêtement (en bas à droite) dans le quart supérieur droit

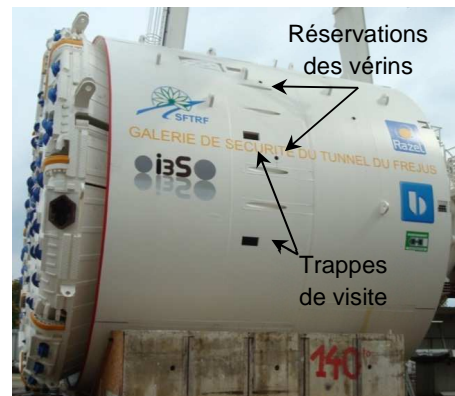


Figure 4 – Les équipements spécifiques du bouclier

Les trappes de visite montrent le même phénomène que ces courbes de convergence au droit du bouclier. Avec les mesures des vérins de convergence elles ont permis de mieux comprendre le comportement du terrain et de constater que la vitesse du phénomène pouvait être très rapide. Cette célérité a par moment fait augmenter notablement le frottement autour du bouclier et a affecté grandement la qualité du remplissage du vide annulaire autour des anneaux de voussoirs en raison de l'obstruction régulière des pipes d'injection par des écailles.

4 METHODES D'AUSCULTATION

La convergence du terrain au droit du bouclier est mesurable grâce à ces outils, en revanche, le comportement de l'ensemble terrain-revêtement ne peut être mesuré qu'à l'arrière du train suiveur grâce aux auréoles de convergence optique. La convergence étant très rapide, il a été décidé d'installer un outil supplémentaire permettant le suivi des déformations dès la pose de l'anneau de voussoirs et au droit du train suiveur. Il s'agit du RCMS (Ring Convergence Measurement System) développé par l'entreprise allemande VMT GmbH.

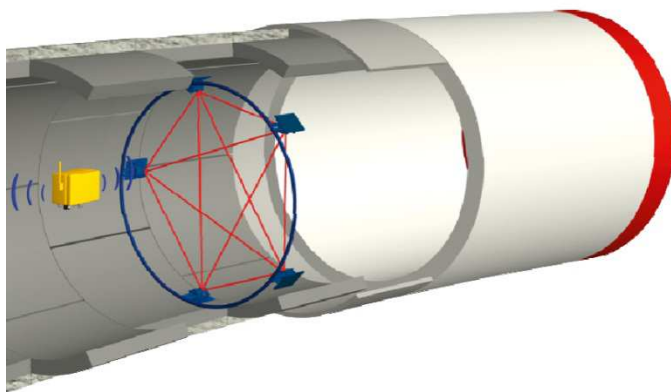


Figure 6 - Schéma de principe du système RCMS

Ce système est composé de 6 inclinomètres (Figure 6), positionnés sur chaque voussoir, qui mesurent en temps réel la variation d'inclinaison du voussoir par rapport à la lecture 0 (mesure au moment de l'installation du système). Ces évolutions sont exprimées en variation de longueur des cordes joignant les joints entre voussoirs (repérés S1, S2, S4, S5, S6 et S7 sur la Figure 8). Ce système permet d'obtenir une représentation géométrique des déformations de l'anneau. Le système est installé sur le dernier anneau posé et est recyclé après une centaine de mètres.

Ce système a été utilisé pour la première fois en 1998 sur un tunnel de 950 m de longueur pour l'aéroport de Zürich. Récemment utilisé sur les tunnels de New tunnel Emperor Wilhelm (Cochem, Germany), tunnel Galleria Sparvo (Bologna, Italy) et le Cleveland Euclid Tunnel (Cleveland, USA), c'est la première fois que le système est mis en œuvre en France.

Le fonctionnement de l'anneau (ovalisation, orientation du chargement, etc.) est bien mis en évidence par les schémas que restitue le logiciel d'interprétation des mesures. On observe sur la Figure 8 la tendance générale de déformation des anneaux en zone convergente : un chargement du terrain dissymétrique entre 1h et 2h avec raccourcissement de la corde S2-S5, et au contraire un allongement des cordes S4-S6.



Figure 7 - Photo d'un inclinomètre

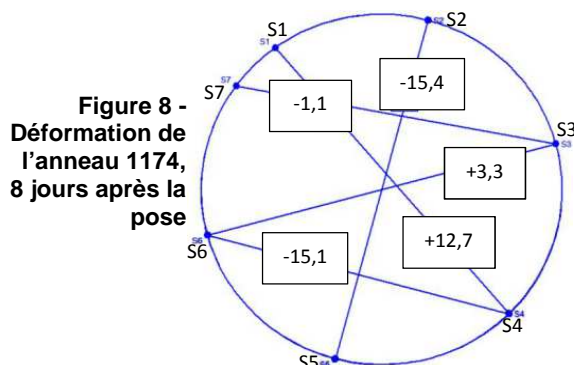


Figure 8 - Déformation de l'anneau 1174, 8 jours après la pose

La Figure 9 présente à titre d'exemple les mesures effectuées sur l'anneau 1174 immédiatement après sa pose : les mesures commencent alors que le creusement de l'anneau suivant démarre. On constate que l'essentiel des évolutions géométriques est acquis au cours du creusement des deux anneaux suivants. C'est l'intérêt essentiel du système RCMS que de permettre de mesurer de manière instantanée les effets du chargement à court terme du massif sur l'anneau dès les premières heures de vie du revêtement.

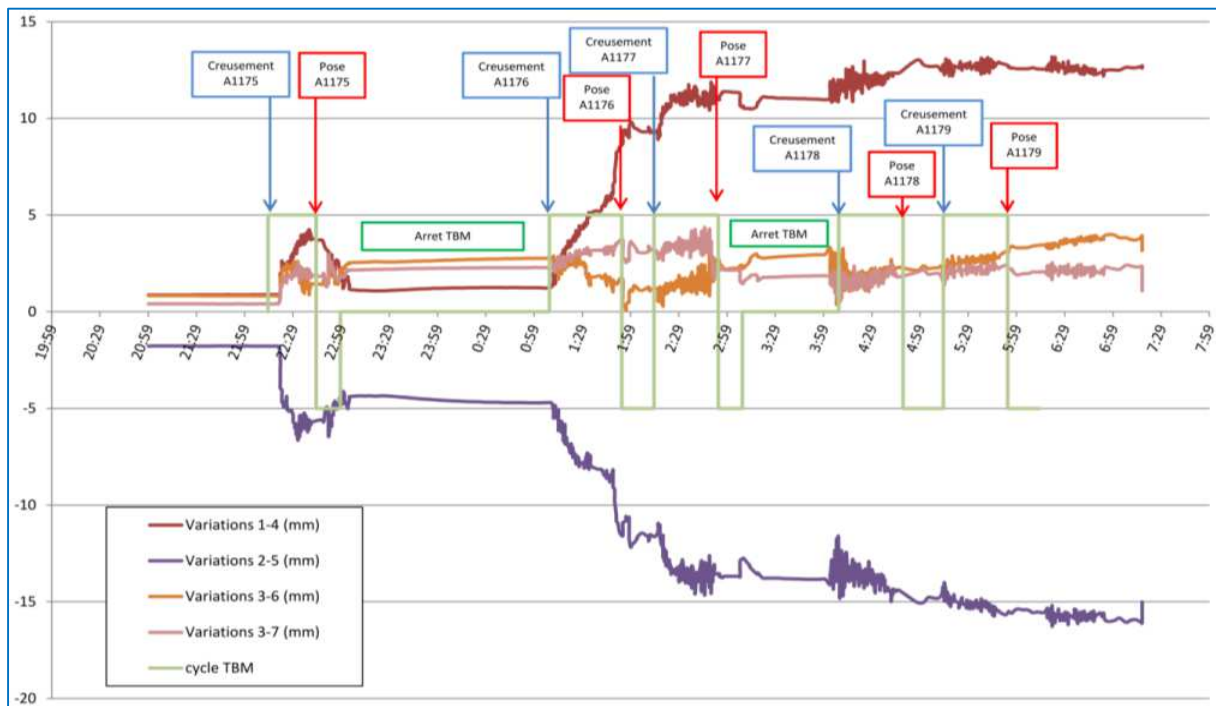


Figure 9 - Suivi des déformations de l'anneau 1174 pendant les 2 premiers jours

L'ensemble des mesures collectées sur le chantier (Figure 10) a permis de montrer que les amplitudes des déformations présentent des schémas similaires à ceux observés par ailleurs (anneaux instrumentés, convergence optique, etc.) : on distingue clairement la deuxième zone de forte convergence qui se traduit par une plus forte sollicitation des anneaux. (nota : le système a été mis en œuvre à partir de l'anneau 1174 : on ne dispose pas de mesures pour la première zone de forte convergence).

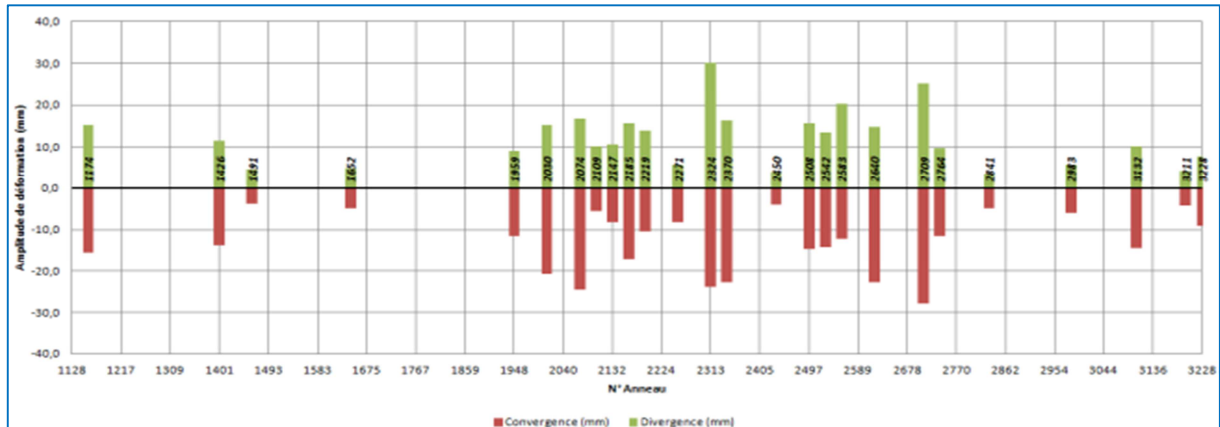


Figure 10 - Amplitudes de déformation (convergence et divergence), anneau par anneau du 1 128 au 3 228, soit du PM 2 670 au PM 6 450. L'intensité du chargement se traduit par l'ovalisation plus ou moins importante des anneaux.

5 SURVEILLANCE DU TUNNEL

5.1 Les contraintes imposées par le projet

Dans le tunnel, au droit de chaque rameau de connexion, soit tous les 370 m environ, est installée une section de mesures composée d'une auréole de convergence, de trois extensomètres en forage et de six témoins sonores. Les mesures de convergence démarrent avec le creusement du rameau et se terminent a priori après la réalisation du premier plot de béton coffré à l'intersection du rameau avec le tunnel. La périodicité des mesures est modulable de 6h en fonctionnement normal à 2h en fonctionnement critique. Le traitement est fait en temps réel et les résultats mis en ligne immédiatement. Les travaux d'installation ont été réalisés pendant les nuits du vendredi au dimanche.

5.2 Choix de la méthode de mesure et système mis en place

Quatre rameaux pouvant être simultanément en travaux, il a été nécessaire de mettre en œuvre quatre systèmes de mesure de convergence temps réel. Ces systèmes ont été transférés d'un rameau à l'autre suivant leur avancement. Chaque zone de suivi (Figure 11) comprenait deux prismes de référence et quatre prismes de suivi. L'expérience a montré qu'un cinquième système aurait permis de maintenir plus longtemps la surveillance dans quelques secteurs sensibles.

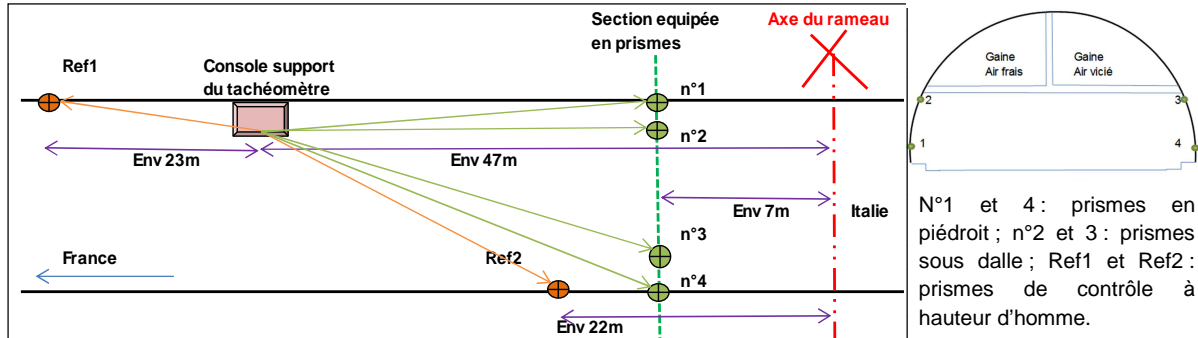


Figure 11 – Disposition type d'une zone de suivi des convergences

Ce dispositif a été reproduit sur la majorité des rameaux, il a toutefois été nécessaire d'adapter la géométrie du système pour éviter les obstacles aux visées : signalétique des abris, panneaux non démontables ni déplaçables, etc.

L'aspect le plus critique du dispositif a été le réseau de communication permettant de rapatrier les données. Un réseau de communication longue portée par câble cuivre a été installé dans la gaine d'air frais du tunnel, pour faciliter les interventions, jusqu' à la tête nord où se trouvent les locaux de chantier. Des boîtiers de dérivation ont été installés tous les 200 m pour connecter les dérivationes vers l'espace trafic du tunnel en passant par les carneaux de ventilation les plus proches des tachéomètres.

Le tachéomètre Leica TM30 a été choisi en raison de sa précision et de sa capacité potentielle à résister aux agressions de l'atmosphère du tunnel (poussière, nanoparticules des gaz d'échappement, humidité, projection de sel). Le choix des prismes s'est porté sur les Leica GMP104 car la distance de mesure au tachéomètre est faible, leur encombrement est réduit avec un risque de heurt faible et une robustesse évidente.

Le pilotage des tachéomètres à distance, le rapatriement des données et leur traitement ont été réalisés avec le logiciel Geomos de Leica qui permet de connecter des capteurs topographiques et aussi des capteurs de température, de pression, des inclinomètres, etc. Il permet également d'intégrer des fonctions d'alarme. Il a cependant un travers : en cas de coupure internet les mesures ne sont pas lancées.

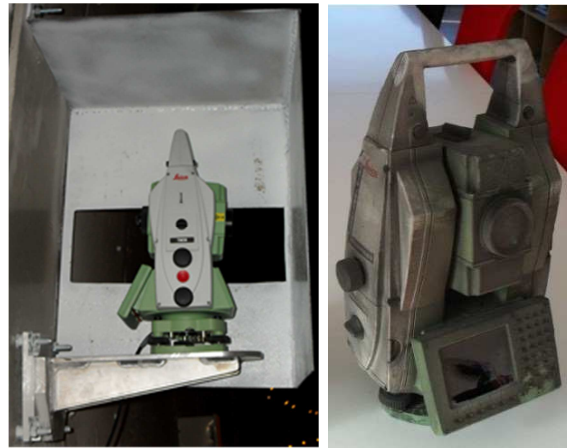


Figure 12 - Un tachéomètre Leica TM30 dans son boîtier de protection. Le même après un séjour dans le tunnel

5.3 Facteurs de détérioration de la qualité des mesures

L'encrassement a été un problème permanent pallié par des nettoyages réguliers (toutes les 2 à 4 semaines) pour conserver des conditions de pointé correctes. De plus ces tachéomètres ont été contaminés à même le cœur : les particules très fines des gaz d'échappement s'y insinuent avec pour conséquences des nettoyages effectués par les techniciens de Leica. La protection IP64 (étanche à la poussière) serait préférable à IP54 (protégé contre la poussière) mais il semble qu'elle n'existe pas pour de tels appareils.

D'autres phénomènes sont susceptibles de détériorer la qualité des mesures, par exemple les dépressions causées par les passages de poids lourds. En effet, un poids lourd peut très bien passer

au moment de la mesure et créer des perturbations sans que l'on puisse recueillir cette information. On peut également ajouter des aléas tels que le heurt d'un prisme par une sangle de camion détachée, les coupures d'alimentation électrique malgré les onduleurs et enfin les coupures internet.

5.4 Résultats

La précision sur la longueur d'une corde 3D mesurée avec le matériel mis en œuvre devrait être d'environ 3 à 4/10^e de mm, mais du fait des dégradations de mesure exposées précédemment, elle est plus vraisemblablement de 5 à 6/10^e de mm. Les premiers rameaux ayant provoqué des convergences du tunnel entre 0 et 2 mm, il a été considéré que tout mouvement supérieur à cette valeur pouvait devenir significatif. Les convergences mesurées varient de 0,5 à 7,5 mm.

L'excavation des rameaux est réalisée à l'explosif jusqu'à une certaine distance du tunnel, généralement une dizaine de mètres, afin d'éviter que les vibrations ne détériorent sa structure. La suite de l'excavation est réalisée avec une machine à attaque ponctuelle.

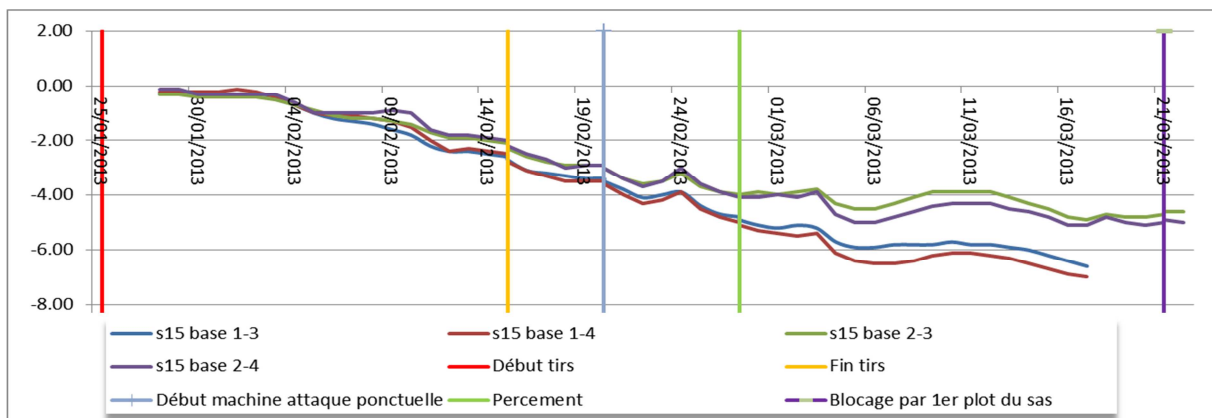


Figure 13 - Évolution des convergences en tunnel au droit du rameau 15 (convergence / temps)

Le graphe ci-dessus montre l'évolution de la convergence en tunnel au droit du rameau 15 où ont été mesurées les valeurs les plus importantes, de 5 à 7 mm, qui se déclenchent pendant la première phase de l'excavation réalisée à l'explosif alors que le front de taille est encore loin du tunnel. L'utilisation des points de référence, notés Ref1 et Ref2 sur la figure 13, a permis de confirmer que le piédroit affecté de mouvements est celui qui se trouve du côté des rameaux.

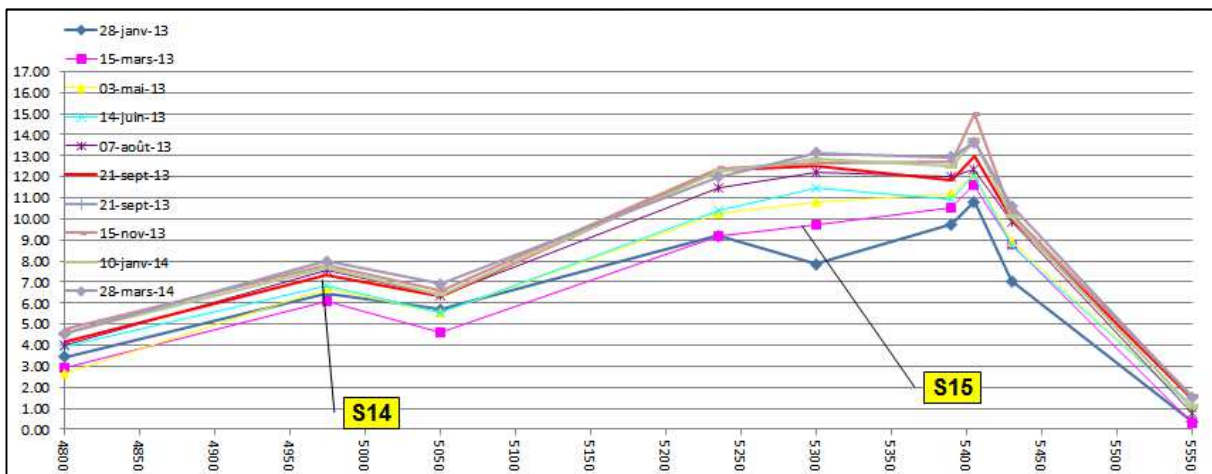


Figure 14 - Évolution des convergences (cordes 1-3 et 2-4) dans le secteur des rameaux 14 et 15 d'août 2005 à mars 2014

La fréquence des mesures, annuelle sur les anneaux de convergence historiques du tunnel, a été augmentée avec une mesure tous les deux mois. Celles-ci, effectuées en mode manuel, de nuit et en week-end ont montré sur quelques profils une évolution faible mais continue. Le graphe ci-après présente l'évolution des convergences dans le secteur des rameaux 14 et 15, où un tel phénomène se manifestait et où le creusement des rameaux a provoqué des convergences relativement importantes dans le tunnel. Des travaux de confortement sont prévus dans ce secteur par la SFTRF.

5.5 Impacts sur la partie italienne

L'expérience du lot 1 a permis d'adapter le dispositif pour le lot 2 de génie civil côté Italie. Il assurera, outre les rameaux, le suivi de l'ensemble du tunnel et la mesure de l'impact du passage du tunnelier grâce à l'instrumentation préalable du tunnel avec :

- 23 consoles pour tachéomètres y compris pré-câblage.
- 46 auréoles de convergence composées chacune de 4 prismes.
- Une ligne en fibre optique de 7 km avec un boîtier de communication par console.
- 4 tachéomètres TM30 + 1 en réserve pour le suivi des rameaux. La rotation des tachéomètres permettra de suivre la progression du front de taille (environ 400 m par mois).

Autre conséquence pour la partie italienne de la réaction du tunnel dans certains secteurs de la partie française, l'entraxe tunnel – galerie a été augmenté à 100 m dans le secteur des kilomètres 7 à 8 qui avait montré une grande sensibilité du terrain lors des travaux du tunnel, sachant que la structure du tunnel est plus sensible sur cette partie à cause du mode de liaison de la dalle des gaines de ventilation avec les piédroits. Le tunnelier a maintenant dépassé ce secteur et aucun mouvement significatif n'a été enregistré.

6 CONCLUSION

Les mesures de convergences sont un moyen simple et fiable de caractériser avec précision le comportement de l'ensemble terrain-revêtement d'un ouvrage souterrain. A l'occasion du chantier de la galerie du tunnel routier du Fréjus ont été utilisés deux techniques particulières qui ont donné des résultats probants dans un environnement qui a confirmé dans quelques secteurs sa propension aux fortes convergences. Le système RCMS, avec la mesure de la déformation du revêtement dès la pose de l'anneau de voussoirs puis pendant l'avancement du train suiveur, a mis en évidence et a permis de quantifier la rapidité de la mise en charge de l'anneau dans ces secteurs. La surveillance du tunnel routier par le dispositif innovant de mesure automatique des convergences a prouvé sa pertinence en révélant les secteurs qui ont réagi rapidement aux perturbations apportées par l'excavation des rameaux. Le dispositif a été renforcé pour le lot 2, où la structure du tunnel est plus sensible, pour mieux détecter l'incidence éventuelle du passage du tunnelier.

7 REMERCIEMENTS

Les auteurs remercient la SFTRF, concessionnaire de la partie française du tunnel et maître d'ouvrage du lot 1 de génie civil.

8 REFERENCES

- Levy M., Matheron P., Demorieux J.M. & Courtecuisse G., 1979. Les travaux du tunnel routier du Fréjus. Travaux. Juillet-Août 1979, pp. 9-19.
- Berest P., Habib P. & Nguyen Minh Duc, 1980. Tentative d'interprétation des déformations observées aux tunnels du Fréjus et du Gran Sasso. Revue française de Géotechnique n°12, pp. 44-55.
- Beau J.R., Cabanius J., Courtecuisse G., Fourmaintraux D., Gesta P., Levy M., Néraud C., Panet M., Péra J., Tincelin E. & Vouille G., 1980. Tunnel routier du Fréjus : les mesures géotechniques effectuées sur le chantier français et leur application pour la détermination et l'adaptation du soutènement provisoire. Revue française de Géotechnique n°12, pp. 57-82.
- Lunardi P., 1980. Application de la mécanique des roches aux tunnels autoroutiers. Exemple des tunnels du Fréjus (côté Italie) et du Gran Sasso. Revue française de Géotechnique n°12, pp. 5-43.
- Simonnet D., Miche N., Mathieu E., De Lorenzi D., Chille F., Schivre M. & Thone M., 2011. Galerie de sécurité du tunnel routier du Fréjus : rétro-analyse du chantier du tunnel routier pour le choix d'une méthode mécanisée pour la galerie en milieu fortement déformable. Congrès AFTES Lyon.
- Tirpitz E.R. & Ramond P., 2012. Emergency gallery for the « Tunnel du Fréjus » - TBM-Drive with segmental lining in variable rock conditions at high overburden. 41. Geomechanik-Kolloquium 2012, Bergakademie Freiberg, pp. 213-229.
- Fuoco S., Berti M., Miché N., Ramond P., Bianchi G.W., Torresani S., Bochon A., 2013. Analisi delle problematiche connesse allo scavo di calcescisti con sistema meccanizzato sotto grandi coperture : la gallerie di sicurezza del Frejus. Congresso Societa Italiana Gallerie "Gallerie e spazio sotterraneo nello sviluppo dell'Europa". Bologna, Italia.