

Le tunnel T33* MONACO

Julien CORNIER, Cyril CHAUBERT
Soletanche-Bachy Tunnels

Résumé :

Le tunnel T33 de Monaco fait partie du projet global d'urbanisation de la zone de l'ancienne gare SNCF. Il s'agit d'un tunnel routier de 140 m de longueur et de 55 à 85 m² de section, excavé en méthode traditionnelle dans un rocher calcaire, avec toutefois de nombreuses adaptations mises au point pour réduire l'impact des travaux (en particulier les vibrations) sur les constructions voisines.

Abstract:

The T33 tunnel in Monaco

The T33 tunnel in Monaco is part of the rehabilitation project of the old Railway station area. It is a 140m-long, 55 to 85 m² section road tunnel, excavated with the conventional method in a calcareous rock formation, but several adaptations had to be used during digging in order to minimize the impact of the works (particularly vibrations) on the surrounding neighbourhood.

PRÉSENTATION GÉNÉRALE

En dépit de la volonté politique du Prince de développer les transports en commun et le covoiturage, près de 30 000 personnes empruntent leur voiture pour venir travailler sur le territoire de la Principauté et la circulation automobile constitue une des principales nuisances subies par les Monégasques. Les autorités, conscientes du problème, ont initié un plan d'urbanisation dans le quartier de l'ancienne gare SNCF. Il comprend un ensemble de voiries souterraines composées de tranchées couvertes et de tunnels. Réalisés en plusieurs tranches, ces travaux ont démarré en 2000 et précèdent la construction d'autres ouvrages en superstructure.

Le Service des Travaux Publics de Monaco a attribué au bureau d'études Coyne-et-Bellier la maîtrise d'oeuvre de l'ensemble de ce projet d'urbanisation des délaissés SNCF.

Le contrat de l'ensemble K (tunnel T33) est l'un des différents lots constituant le projet. Il comprend la réalisation d'une galerie

technique de 150 m de longueur pour abriter les réseaux sous la route en pieds de falaise, et un tunnel au rocher de 55 à 85 m² de section excavée et de 140 ml de long, ainsi que des travaux de génie civil sur les têtes amont et aval du tunnel.

Ce marché a été attribué au groupement Richelmi / Solétanche SAM-Solétanche Bachy Tunnels / Sivia'm. Richelmi mandataire du groupement réalise le génie civil, Solétanche SAM, les travaux spéciaux et les terrassements extérieurs ; Solétanche Bachy Tunnels l'excavation et le bétonnage du tunnel au rocher ; enfin Sivia'm les travaux de réseaux et de chaussée en tunnel et en extérieur.

Le tunnel T33 reliera la place du Canton à la sortie sud de Monaco en direction de Nice. Il est creusé en bordure de la falaise du Jardin exotique, plonge sous l'un des péroirs du tunnel montant (T7) et ressort sous un ensemble d'éboulis mégolithiques à intercalations de poches sableuses après avoir quitté le calcaire dolomitique d'âge jurassique.



Le chantier dans son environnement (Photo Emmanuel Gaffard)

*Avec l'aimable autorisation de Mona Monnot, rédactrice en chef de la revue Travaux dans laquelle cet article a été publié en décembre 2007 (N° 847).

Ce projet concentre un nombre important de contraintes environnementales liées au creusement de tunnel en site urbain majeur :

- contraintes liées à la gestion et la minimisation des nuisances sonores,
- à la gestion des poussières,
- au respect des critères vibratoires sur un environnement immédiat très sensibles (habitations et bureaux, richesse des grottes du Jardin exotique, tunnel en service, falaise sub-verticale avec rochers et blocs potentiellement instables, galeries techniques en service...), au-dessus et en dessous des voies de circulation.
- contraintes liées à l'existence de courants vagabonds pouvant être générés par la mise à la terre d'un transformateur 20 KV,
- phasages complexes de travaux liés à des circulations denses.

La préparation minutieuse du dossier d'appel d'offres et le respect des critères prescrits au moyen des méthodes de réalisation originales ont été mis au service de la réalisation de cet ouvrage au contexte spécifique.

LE CONTEXTE GÉOLOGIQUE

Le projet d'implantation du tunnel T33 intéresse l'écaïlle calcaire de Monaco, unité géologique de l'Arc de Nice. Cette unité est située au front des chaînes subalpines orientales mis en place lors de la surrection des massifs alpins méridionaux. D'orientation Est-Ouest, cette écaïlle se décompose en deux entités. A l'Est, le célèbre « Rocher », qui s'avance dans la méditerranée surplombant le port de Fontvieille et sur lequel est édifié le Palais Princier ainsi que la vieille ville de Monaco. A l'Ouest, l'écaïlle du Jardin exotique, qui abrite les Grottes de Monaco et au pied de laquelle se situe le projet d'implantation du tunnel T33.

Cette écaïlle, constituée pour l'essentiel par des terrains calcaires d'âge Jurassique chevauche en partie basale des terrains de couverture marneux du Crétacé. Le Jurassique se présente ici sous forme d'un banc calcaire massif de couleur blanc/beige, plus ou moins dolomitisés, puissant de 400 à 500 m. la majeure partie du tunnel a été excavée dans ces terrains. Ce matériau présente de bonnes qualités géotechniques avec une densité de l'ordre de 2.7/2.8 et une résistance à la compression pouvant atteindre les 100 MPa ; pour une roche classée comme très abrasive. On relève une densité de fracturation

RQD de 100% pour des terrains dont la classification oscille entre bon rocher et très bon rocher d'après la classification de Bieniawski, sur la majeure partie du tracé. La caractéristique principale de ce calcaire est la présence de couloirs de dissolution karstique qui peuvent induire la présence de cavités et dans une moindre mesure, de failles plus ou moins ouvertes remplis de concrétions calcaires, cas rencontré sur le T33, ou par des argiles de décarbonatation. Les phénomènes successifs, liés à l'orogénèse alpine dans cette région, qui ont conduit à la mise en place de cette unité, ont induit un régime de fracturation très complexe. Ceci s'est traduit lors de la phase d'excavation par une succession de décrochements, failles inverses et des écaillages en galerie. Bien que ces terrains calcaires soient considérés comme perméables en grand part leur réseau de fractures et le karst qui s'y est développé, aucune venue d'eau n'a été rencontrée lors du percement.

Les têtes de tunnel présentent quant à elles une géologie moins homogène. La tête amont se divise sur les premiers mètres en 2 parties distinctes. Une première zone côté falaise constituée de calcaire massif du Jurassique et une seconde zone occupée par de la brèche de pente, terrains formés d'une matrice argileuse rouge indurée englobant des éléments calcaires de taille décimétrique. La tête aval constitue le point le plus délicat du projet de part l'hétérogénéité du site. Située en pied de falaise, cette zone est formée de terrains quaternaires constitués par un amoncellement de blocs éboulés de grande taille (éboulis mégalithiques) et de brèche de pente. Les cavités situées entre les blocs sont comblées par des poches de sable et de galets, dépôts marins littoraux, témoins d'une paléo-plage du temps où la méditer-

ranée bordait le pied de la falaise. Le tout est surmonté par des éboulis et des remblais anthropiques anciens. L'attaque du tunnel a été réalisée dans ce contexte géologique complexe alliant hétérogénéité des terrains et faible épaisseur de couverture ce qui a nécessité la mise place d'un soutènement spécifique sous la forme d'une voûte parapluie et l'installation de cintre lourds en profilés HEB 220.

LE RESPECT DES ENVIRONNANTS PAR LA MAÎTRISE DES DÉPLACEMENTS DES SOUTÈNEMENTS ET LA LIMITATION DES VIBRATIONS

Pour excaver un rocher aussi bon en minimisant l'impact sur les avoisinants toujours très sensibles à Monaco, un grand nombre de mesures ont été prises.

Le réseau mis en place comprend 60 cibles d'auscultation topographique, 3 fissuromètres électroniques, 18 jauges « Saugnac » et 25 capteurs de vibration géophones reliés au réseau GSM permettant de transmettre les enregistrements de données immédiatement par courrier électronique.

Il faut ajouter à cela le suivi propre de l'ouvrage. Dans la galerie technique et les fouilles des têtes, une vingtaine de butons ont été instrumentés au fur et à mesure de l'avancement en utilisant des capteurs pressiométriques à manomètre. Dans les parties les plus sensibles, 27 tirants ont également été équipés à l'aide de cellules électriques de mesure de tension. Dans le tunnel un suivi des convergences et des tassements a été mis en place notamment



Photo 2
Tête amont, intersection entre la galerie technique et le tunnel T33
(Photo Emmanuel Gaffard)

au niveau des têtes chargées de manière dissymétrique. L'ensemble a permis de suivre les réactions des ouvrages au cours des différentes phases de travaux.

Le creusement du tunnel a débuté début 2007 par l'attaque amont qui s'est avérée être la plus délicate. En effet, l'axe du futur tunnel attaque de biais la falaise rocheuse immédiatement à l'aplomb de la tête du tunnel montant (T7) et de ces des locaux techniques. Dans cette partie de l'ouvrage, l'équipe du chantier a utilisé une technique novatrice de pré-découpage du tunnel par forages sécants permettant de désolidariser la section à abattre du massif environnant, suivi d'un fraisage de roche combiné à de la fissuration par microminage (charges variant de 50 à 125gr).



Photo 3 - Fraisage du front avant microminage des bancs rocheux pré-découpés par forages sécants

Le matériel spécifique qui a été utilisé est le suivant :

Un Robofore 3 bras modifié spécialement afin d'être équipé sur 2 de ses bras d'un couple de glissières avec tous leur équipement de forage (marteaux, barres, taillants etc). La raison de ce montage spécifique réside dans le fait que le seul moyen de forer 2 trous parallèles et extrêmement proches l'un de l'autre est de les faire en même temps à partir du même équipement.

Une fraise de 200 Kilowatts (ERKAT) équipés d'outils spécifiques « roche dure » ; le tout monté sur une pelle Liebherr 954.

Pour le creusement depuis la tête aval, une fois quittée la zone d'éboulis mégalithiques, une technique hybride combinant le fraisage et le minage de la roche a été mise en place. Lors de l'utilisation du minage comme méthode de creusement, la réalisation du « bouchon », qui est la zone de dégagement primaire, est ce qui produit le plus de nuisances (vibrations, bruit, et projections de fragments de roche). La première des dispositions a été



Photo 4 - Le Robofore utilisé pour le creusement depuis la tête aval (Photo Emmanuel Gaffard)



Photo 5 - Une volée prête à être chargée avec ses 141 trous forés et son «bouchon fraisé»

de concevoir ce bouchon par fraisage, en utilisant la fraise mobilisée sur le chantier. Cette technique de creusement permet de produire un niveau de vibration extrêmement faible, voire nul. Un plan de tir a ensuite été bâti avec comme contrainte le respect d'une charge instantanée très faible (625 gr à 750 gr). Cela implique un maillage serré (70 cm), un nombre de trous de mines important (141 trous pour 55 m²),

et une utilisation de toute la plage des détonateurs électrique « retard » sur les 10 lignes d'un exploseur séquentiel. Les zones de passage à proximité d'ouvrages sensibles ont été traversées en faisant une demi-section complète et en minant le banc rocheux restant. Cette méthode hybride permet d'adapter le niveau des vibrations transmises au massif environnant en augmentant la part de section fraisée.



Photo 6
Le résultat d'un tir de mines en pleine section juste après évacuation des gaz et poussières

CONCLUSION

Le tunnel est maintenant excavé ; le percement a eu lieu le 8 novembre 2007. Les contraintes sur les environnants ont été aussi faibles que possible, aucun désordre n'est à signaler, les grottes du Jardin exotique et une conduite principale d'alimentation en eau de Monaco en fonte grise qui étaient situées à quelques mètres du tunnel n'ont subi aucun dommage. Il reste maintenant à réaliser le revêtement béton du nouveau tunnel pour livrer dans quelques mois cet ouvrage délicat.

Liste des intervenants :

Maîtrise d'ouvrage : Service des Travaux Publics de Monaco

Maîtrise d'œuvre : Coyne-et-Bellier

Bureau de contrôle : Socotec

Groupeement d'entreprises : Richelmi / Soletanche SAM / Sivia'm