

LA SÉCURITÉ DU TUNNEL FERROVIAIRE DE MARSEILLE

Daniel André

Direction de l'ingénierie SNCF

► LA SÉCURITÉ DU TUNNEL FERROVIAIRE DE MARSEILLE

Après avoir rappelé l'approche actuelle en matière de sécurité des tunnels ferroviaires, l'auteur donne les caractéristiques du tunnel TGV de Marseille long de près de 8 km, achevé en 1999, et équipé de protections conformes à la nouvelle réglementation ITI 98300 publiée en juillet 1998, bien que celle-ci soit postérieure à la conception du tunnel. La détection de situations anormales, la communication avec l'extérieur, les dispositions destinées à faciliter l'intervention des secours et l'évacuation des voyageurs sont passées en revue dans cet article qui décrit aussi les dispositifs de protection et de lutte contre l'incendie. L'auteur conclut en évoquant les progrès attendus dans les domaines de la prévention et du diagnostic précoce d'incident qui constituent la base essentielle de la maîtrise de la sécurité du transport ferroviaire.

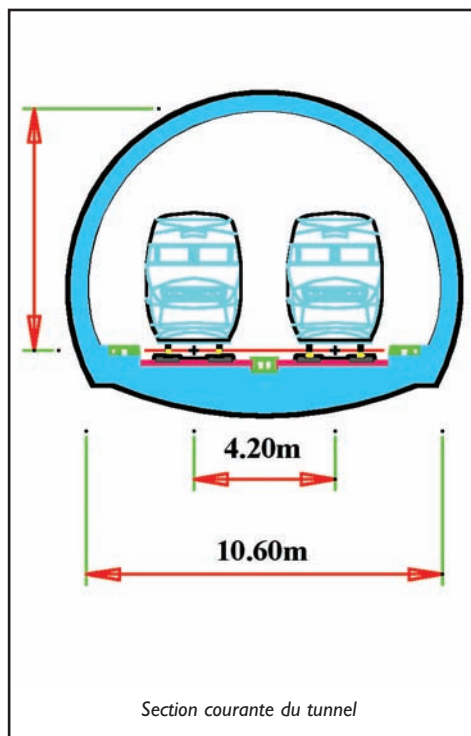
► SAFETY IN THE MARSEILLE RAIL TUNNEL

After recalling the current approach of safety in rail tunnels, the author describes the case of the nearly 8 km-long high-speed train tunnel near Marseille, achieved in 1999 and equipped with protections conforming to the French official Technical Instructions ITI 98300 published in 1998 although the tunnel was designed earlier. Detection of abnormal situations, communication means from inside the tunnel and arrangements aimed at facilitating the rescue operations are described in the paper which also provides information on fire protection and fighting. The author concludes by mentioning improvements expected in the prevention and early diagnosis of incidents, the major factor of safety control in rail transportation.

La réflexion sur la sécurité dans les tunnels ferroviaires est un domaine en constante évolution. La catastrophe survenue en 1972 dans le tunnel de Vierzy a conduit à intensifier la politique de surveillance et de maintenance des tunnels du patrimoine. Dans les années 90, la construction de nouveaux tunnels a amené de nouvelles réflexions orientées sur le traitement des situations accidentelles. Le présent article a pour objet de présenter les dispositions mises en œuvre à l'occasion de la réalisation du dernier grand tunnel construit sur le réseau.

Situé sur la Ligne à Grande Vitesse Méditerranée, le tunnel d'arrivée sur Marseille est le plus long ouvrage souterrain ferroviaire exploité entièrement situé sur le territoire français. Ce tunnel à deux voies de 7834m de longueur, présente une section libre de 63m². Il est équipé d'une pose de voie sur dalle. La vitesse d'exploitation est de 230km/h en tête nord et 170km/h en tête sud.

Sa construction s'est déroulée de 1995 et 1999 d'abord sous maîtrise d'ouvrage SNCF puis à partir de 1997 sous maîtrise d'ouvrage RFF. Elle a fait l'objet de plusieurs lots séparés qui ont été présentés dans les revues TOS n°148 (TGV Méditerranée - tunnel des Pennes Mirabeau et tranchée couverte de Bellepeire) et 159 (TGV Méditerranée : tunnel de Marseille).



1 - APPROCHE ACTUELLE DE LA SÉCURITÉ DES TUNNELS FERROVIAIRES

Particularité du système ferroviaire

D'une façon générale, les événements redoutés dans les tunnels ferroviaires peuvent être classés en cinq catégories: arrêt de longue durée, arrêt avec incendie, accident grave - tel que déraillement ou collision - sans incendie, accident grave avec incendie, accident impliquant des marchandises dangereuses.

Nature des risques

Un tunnel ferroviaire n'accroît en aucune manière le risque d'accidents si la conception, la construction et la maintenance des structures sont bien réalisées. Ils sont en effet souvent équipés d'installations simples peu sensibles aux défaillances et l'ouvrage lui-même constitue une protection vis-à-vis des agressions extérieures.

Le risque spécifique aux tunnels provient en fait de l'aggravation potentielle d'un incident critique, en raison du confinement de l'espace.

Logique de maîtrise de la sécurité

La sécurité en tunnel ferroviaire repose sur trois piliers :

1) la fiabilité du système ferroviaire dans sa globalité qui se compose d'un ensemble d'éléments destinés à empêcher l'apparition d'incidents critiques (état des voies, signalisation, liaisons radio sol-train, détecteurs de boîtes chaudes, contrôle de vitesse, conception et maintenance du matériel roulant, règles d'exploitation...),

2) la fiabilité des structures, qui repose sur des règles de conception rigoureuses et sur une surveillance régulière des ouvrages,

3) l'efficacité d'aménagements et de dispositifs spécifiques à ce type d'ouvrage.

Le principe de base autour duquel s'articule la sécurité du système ferroviaire est d'éviter l'apparition d'accidents. Les études de criticité montrent que la fréquence annuelle d'apparition d'un accident grave en tunnel est extrêmement faible. Pour un tunnel double voie de 5 km de longueur supportant un trafic mixte voyageur et fret, elle serait de l'ordre de 2.10^{-4} . Cette fréquence descend à 10^{-6} dans le cas d'un accident grave avec développement d'un incendie soit une période de retour de 1 million d'années.

Néanmoins le risque résiduel ne pouvant, par principe, être considéré comme nul, un certain nombre de dispositions variables selon les ouvrages sont aménagées afin de réduire les conséquences d'un éventuel accident. Elles concernent en particulier l'accessibilité à l'ouvrage, son éclairage, son évacuation et les moyens de communication.

La réglementation

Depuis le 8 juillet 1998, une Instruction Technique Interministérielle (ITI n° 98 300) précise les mesures de sécurité applicables en tunnel ferroviaire. Elles ont pour objet de

- limiter la probabilité d'occurrence d'un incident,
- détecter les situations anormales et assurer les liaisons avec l'extérieur,
- permettre la protection et, en cas d'incident, l'évacuation des personnes et l'accès des secours,
- se prémunir et lutter contre un incendie.

2 - L'APPROCHE SÉCURITÉ DU TUNNEL DE MARSEILLE - APPRÉCIATION ET LIMITATION DES RISQUES

Un niveau de risque minimum

En situation d'exploitation, à vitesse normale, seul un train par sens peut se trouver dans le tunnel, deux en cas d'arrêt à l'intérieur de l'ouvrage et les croisements sont possibles.

Sur le plan ferroviaire, l'ouvrage est simple dans la mesure où il ne comporte aucun appareil de voie.

Seules les rames à grande vitesse de types " Paris Sud Est " et " Duplex ", classées comme matériels modernes au sens de l'ITI 98 300, circulent dans ce tunnel situé sur une ligne " voyageurs " non ouverte au trafic fret. La puissance de feu est donc minimum.

Les équipements de traction des motrices ainsi que les équipements haute tension situés sous la voiture bar des rames Duplex sont équipés d'un dispositif de détection des échauffements anormaux avertissant le conducteur et provoquant automatiquement l'isolement des équipements concernés.

Si malgré tout un incendie venait à se déclarer à bord, les documents " métier " des conducteurs leur prescrivent de ne pas arrêter le train en tunnel et de l'acheminer à l'extérieur où les opérations de sauvetage sont beaucoup plus faciles à organiser. Dans cette logique le signal d'alarme de type SAFI (Signal d'Alarme à Freinage Inhibable) qui équipe les rames n'agit plus sur la conduite générale de frein mais délivre une information en cabine de conduite permettant ainsi au conducteur de maîtriser son arrêt.

Dans ces conditions le risque qu'un incendie vienne à se développer en tunnel se situe à un niveau minimum.

Un niveau de protection conforme à la nouvelle réglementation

L'ITI n'était pas parue lors de la conception du tunnel, mais le maître d'ouvrage a néanmoins tenu à ce que ce tunnel comme les autres souterrains du tronçon Valence Marseille réponde au nouveau standard.



Conduite d'eau d'incendie dans l'axe du tunnel

Cette décision intervenant en fin de construction a parfois nécessité quelques adaptations, telles que par exemple l'installation d'une conduite d'eau d'incendie dans le caniveau central.

Par ailleurs, en raison de sa grande longueur, des dispositions particulières relatives aux conditions de sauvetage ont été prévues pour ce tunnel à la suite d'échanges avec les autorités administratives nationales et locales et les deux services en charge des interventions de secours : le Bataillon des Marins Pompiers de Marseille au sud et le Service Départemental d'Incendie et de secours (SDIS 13) au nord.

3 - DÉTECTION DES SITUATIONS ANORMALES ET COMMUNICATION AVEC L'EXTÉRIEUR

Type de signalisation - contrôle de vitesse

Le système de signalisation équipant la LGV Méditerranée est du type Transmission Voie Machine (TVM 430). Autrement dit, la sécurité est assurée grâce à des indications de vitesse maximale à respecter affichées en permanence en cabine. Ce système intègre un contrôle de vitesse. Il évite toute éventualité de rattrapage en tunnel.

Détecteurs de boîte chaude (DBC)



Exemple de DBC

Des capteurs répartis le long de la voie permettent de détecter les échauffements anormaux des boîtes d'essieu qui pourraient conduire à une rupture d'essieu avec risque de déraillement et de collision. Ce dispositif agit directement sur la signalisation de la voie circulée et de la voie contiguë. L'emplacement des DBC à l'extérieur du tunnel est déterminé pour permettre l'arrêt d'une rame avant son entrée en tunnel.

Communication Radio Sol-Train



Exemple d'antenne radio sol-train fixée sur un parement de tunnel

La sécurité du tunnel ferroviaire de Marseille

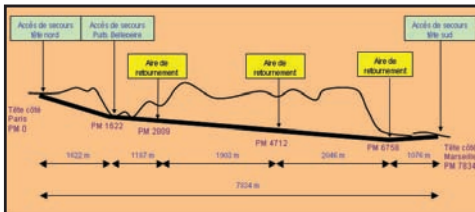
Le conducteur du train est relié au PC par radio sol-train. Ce dispositif lui permet d'informer immédiatement le régulateur d'un défaut de sécurité en tunnel, lequel peut déclencher rapidement l'intervention de secours si nécessaire.

4 - DISPOSITIONS DESTINÉES À FACILITER L'INTERVENTION DES SECOURS ET L'ÉVACUATION DES VOYAGEURS

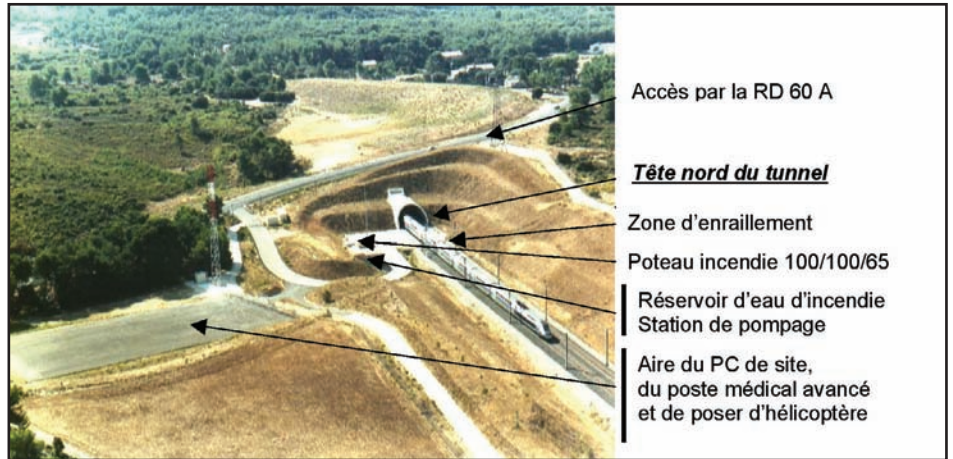
Accès et aménagements extérieurs

Trois chaussées d'accès au tunnel et aux aires réservées à l'intervention des secours ont été aménagées aux têtes et aux puits Bellepeire. Elles sont reliées au réseau routier et permettent le croisement de deux véhicules.

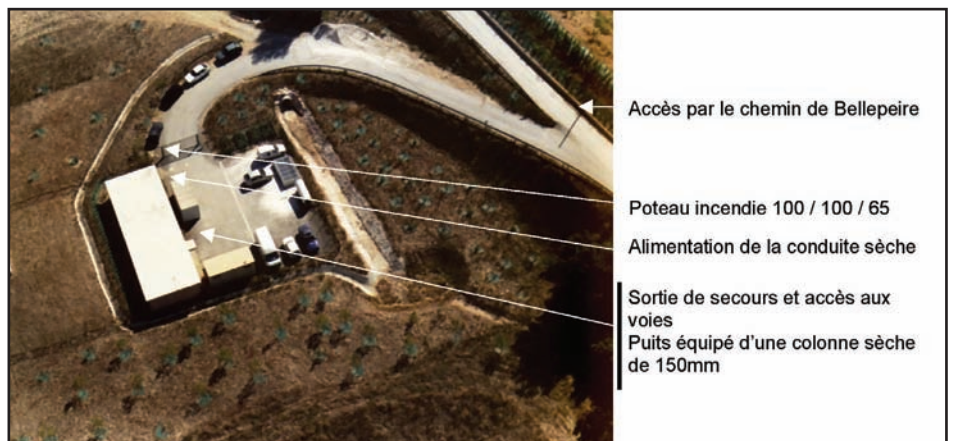
Ces zones d'accès sont équipées de points d'alimentation en eau d'incendie, de dispositifs d'enraillement des véhicules de secours, de postes de communication...



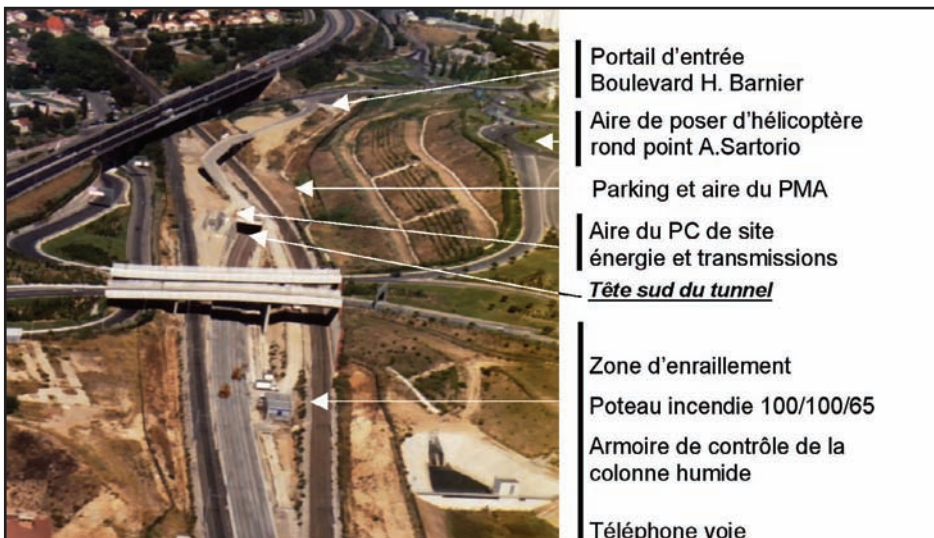
Profil en long du tunnel



Aménagements de sécurité en tête nord



Aménagements de sécurité du puits Bellepeire



Aménagements de sécurité en tête sud (quartier Saint-André)

Les aires permettent le parking des véhicules de secours, et l'installation d'un poste médical avancé (PMA). Chaque site peut également recevoir un hélicoptère.

Le puits Bellepeire est un ouvrage de 6m x 8,5m et 10m de profondeur accolé au tunnel. Il comprend une trémie ouverte de 2,5m x 4,5m équipée d'un treuil, et une tré-

mie d'escalier de 3,6m x 6m qui débouchent sur un sas de 3m x 4,5m donnant accès au tunnel. La largeur d'escalier est de 1,75m. Le puits est surmonté d'un édicule qui coiffe également le tunnel. A cet endroit de faible couverture, ce dernier a été construit à ciel ouvert en structure cadre. La dalle supérieure est ouverte pour permettre la décompression des ondes créées par l'entrée des rames en tunnel et pour faciliter l'aéragé de l'ouvrage. Deux autres ouvertures de 8m² sont aménagées en surface à 20m de part et d'autre du puits.

Aménagements intérieurs Cheminements en tunnel



Banquettes latérales de 1,2m de largeur

La sécurité du tunnel ferroviaire de Marseille

Des banquettes latérales en béton, de 1,20m de largeur, excédant la valeur minimale de 0,70m prévue par l'ITI 98 300, sont disposées le long des piédroits. Leur fonction première est de faciliter une éventuelle opération d'auto sauvetage, mesure essentielle qui s'effectue sous contrôle du personnel de bord avant l'arrivée des secours en cas d'incident nécessitant une évacuation.

Niches en piédroit

Des refuges de 2m de longueur, 2m de hauteur, 50cm de profondeur espacés de 30 mètres sont disposés face à face sur chacun des piédroits. Leur première fonction est de permettre la mise en sécurité du personnel de maintenance lors du passage des trains. Dans le cas de cet ouvrage, la vitesse de circulation des trains est réduite à 80km/h lorsque du personnel intervient à l'intérieur.

Ces niches sont munies de divers équipements d'éclairage, de distribution d'énergie et de communication selon le principe indiqué sur le schéma ci-dessous.

Alimentation électrique

Le système d'alimentation électrique comprend plusieurs niveaux de redondance afin de couvrir les besoins des services de secours même en situation dégradée.

L'énergie électrique du tunnel est livrée sous une tension de 20kV à partir de 2 sources distinctes, le réseau EDF au nord, la sous-station ferroviaire au sud. Cette disposition permet d'assurer l'alimentation électrique du tunnel en cas de défaillance de l'une des deux sources et constitue un premier niveau de redondance. Ces deux postes de livraison Haute Tension 20kV associés chacun à un poste de transformation 20 kV / 3,2 kV sont implantés à chaque tête du tunnel.

Depuis ces postes de transformation, le tunnel est alimenté par une artère en boucle

ouverte de 3,2kV constituée de 2 câbles distincts disposés dans les caniveaux latéraux et protégés des effets d'un incendie et d'une destruction mécanique. Cette disposition qui permet de conserver l'alimentation 3,2kV du tunnel en cas de rupture de câble constitue le second niveau de redondance.

Quatre postes de transformation 3,2kV/410V régulièrement répartis le long de l'ouvrage viennent se raccorder sur cette artère. Ces postes de transformation secondaires permettent d'alimenter en basse tension les équipements et dispositifs de sécurité installés dans le tunnel. Des coffrets électriques équipés de prises de courant 220V et 380V sont installés toutes les trois niches. Chaque piédroit est alimenté séparément afin d'assurer un niveau de sécurité supplémentaire vis-à-vis d'une rupture de la distribution 410V. La puissance disponible au coffret est de 12kVA. L'installation permet

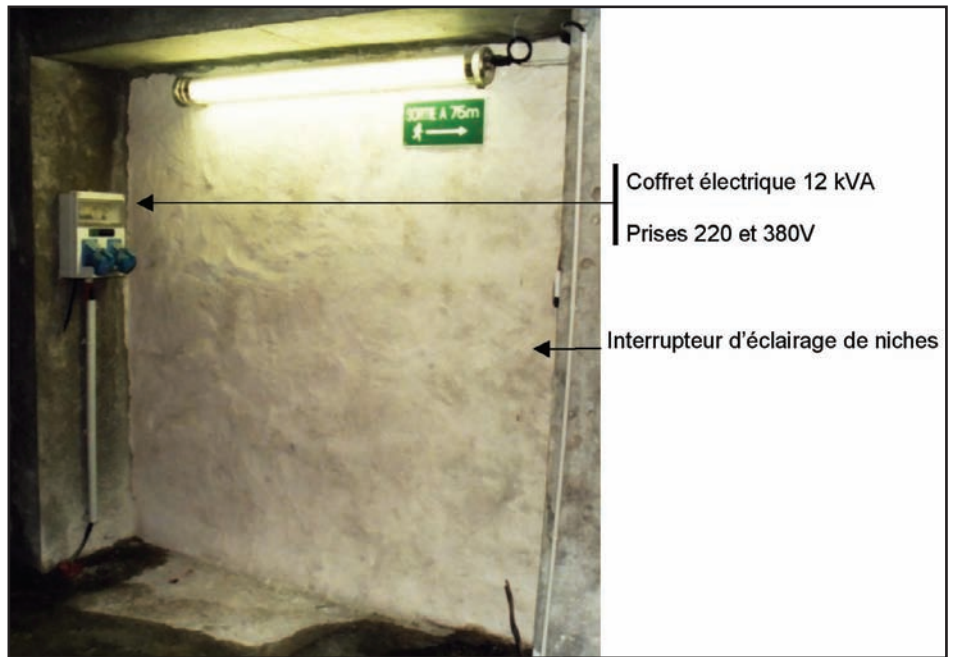
l'utilisation simultanée de deux coffrets sur chaque piédroit.

Eclairage

Le tunnel est équipé d'un éclairage d'ambiance et d'un éclairage de sécurité. Ce dernier assure un éclairement de 2 lux au niveau du sol. Son autonomie est de deux heures.

Les câbles d'alimentation du circuit secours sont logés dans les caniveaux situés dans les banquettes latérales. Ils sont protégés mécaniquement et résistants au feu pendant 1heure.

Eclairage d'ambiance par tubes fluorescents (une niche sur trois).

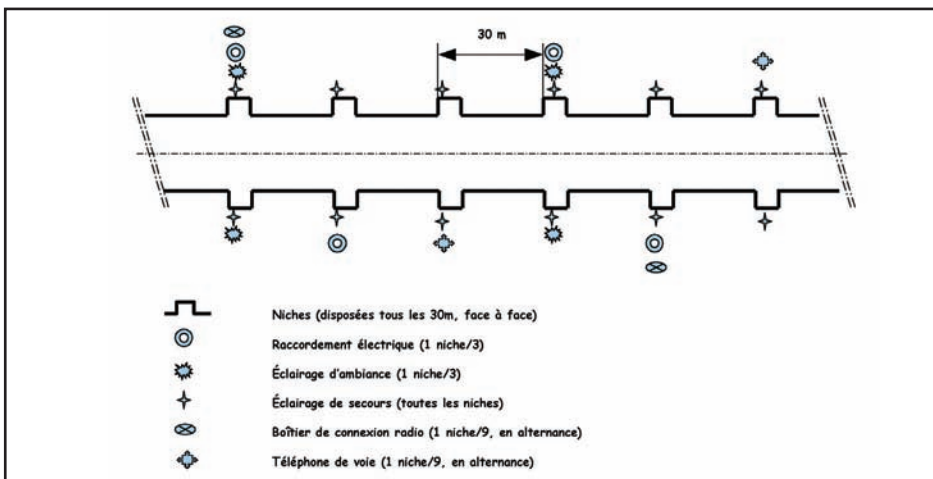


Coffret électrique 12 kVA

Prises 220 et 380V

Interrupteur d'éclairage de niches

Aménagement de niche



Vue en plan schématique du tunnel – Disposition de principe des équipements

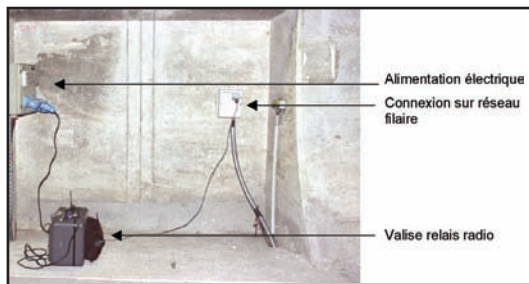


Eclairage d'évacuation par tubes fluorescents disposés dans chaque niche.

Communication de secours

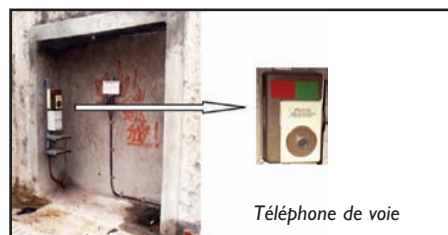
Des boîtiers de connexions sur réseau filaire sont installés toutes les 9 niches et reliés aux coffrets du PC de site implantés en tête de tunnel. Ils permettent le branchement de relais-radio qui émettent en tunnel sur une fréquence de 400MHz.

La sécurité du tunnel ferroviaire de Marseille



Aménagement de niche : transmission radio

Par ailleurs des téléphones de voie installés dans d'autres niches, avec le même espacement que précédemment permettent de joindre directement le poste chargé de la gestion du trafic et la sous-station gérant l'alimentation électrique de la caténaire.



Aux entrées de tunnel, des coffrets sont reliés entre eux par interphones et sont connectés au réseau téléphonique national par 2 lignes distinctes.

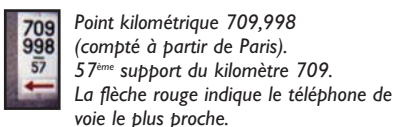
Repérage en tunnel

Les plaques décimétriques (fond jaune) installées en piedroit donnent la distance à la tête nord de l'ouvrage.



Plaque décimétrique située à 7720m de l'entrée nord

Par ailleurs les plaques kilométriques (fond blanc) situées au droit de chaque support caténaire fournissent la position dans le système de référence de la ligne (PK).



Point kilométrique 709,998 (compté à partir de Paris). 57^{ème} support du kilomètre 709. La flèche rouge indique le téléphone de voie le plus proche.

Les niches équipées de dispositifs de secours sont également signalées.



Conformément à l'ITI 98 300, la direction et l'éloignement de la sortie la plus proche

sont indiqués par des pictogrammes répartis tous les 100m environ.



Repérage des issues et de leur éloignement

Anneaux de désincarcération et de relevage

Des anneaux de 120mm de diamètre intérieur d'une capacité de 5000 daN destinés aux opérations de désincarcération et de relevage des trains sont disposés en piedroit des deux côtés du tunnel. La distance entre anneaux est de 30m.

Matériels mobiles

Engins rail-route

Le BMPM a été doté de deux engins rail-route conçus pour intervenir dans ce tunnel ainsi que dans les nombreux autres souterrains de Marseille, afin d'effectuer des missions de reconnaissance, de sauvetage, d'extinction et de désincarcération. Le SDIS 13 a été doté d'un engin chenillette capable de se déplacer sur la voie.

Ces véhicules disposent de :

- moyens de détection (CO, Oxygène, température),
- système de pressurisation,
- caméra thermique amovible pour visualisation en cabine,
- moyens fixes de transmission multifréquence,
- moyens mobiles de transmissions afin d'utiliser le relais filaire de transmission radio à l'intérieur du tunnel,
- moyens d'éclairage,
- matériel d'extinction,
- matériel de désincarcération,
- matériel de sauvetage,
- matériel de protection respiratoire,



Véhicule rail-route

Zone d'enraillement

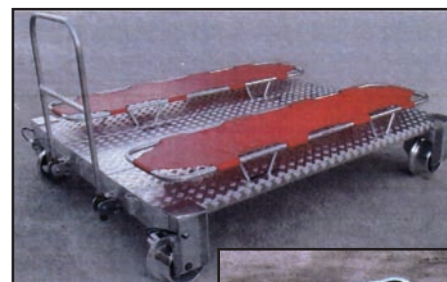
Trois rameaux de 10m d'ouverture et 10m de profondeur servant d'aires de regroupement et d'aires de retournement des véhicules de secours ont été aménagés à environ 1km, 3km et 5km de la tête sud à partir notamment des rameaux reliant le tunnel aux deux puits utilisés pour la construction de l'ouvrage.



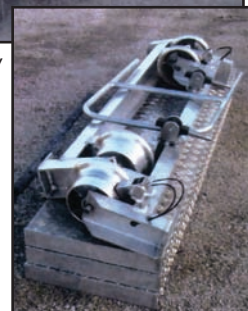
Aire de retournement

Lorrys

Des lorrys légers autofreinés sont mis à disposition des services de secours. Ils supportent une charge de 500kg et permettent l'évacuation d'un blessé et l'acheminement de matériel. Ils sont entreposés dans les niches à proximité de chacune des têtes.



Lorry



5 - PROTECTION ET LUTTE CONTRE L'INCENDIE

Résistance au feu

La tenue au feu pendant 2 heures des différentes structures porteuses a été vérifiée sous l'action d'un feu représenté par la courbe température-temps ISO 834 dans les conditions mentionnées à l'Eurocode 1, partie 2,2.

Alimentation en eau d'incendie

Le caniveau de drainage central du tunnel étant largement dimensionné il a été possible d'y installer une colonne humide de 200mm après la fin des travaux de génie-civil.

Cette colonne alimente 44 bouches incendie de 100mm réparties tous les 180m dans l'entrevoie. Elle est équipée de vannes de sectionnement au niveau de chaque bouche.



Bouche incendie avec vanne d'ouverture
Capot de la bouche d'incendie

La conduite est reliée à un réservoir de 120m³ situé en tête nord, qui est réalimenté automatiquement en cas d'utilisation de la colonne humide. Le tunnel est équipé d'une station de pompage en tête sud qui est commandée à partir de coffrets disposés aux deux extrémités.



Orifices de réalimentation.



Poteau incendie

En cas d'avarie de la conduite, une réalimentation est possible à partir de l'un des 3 poteaux incendie disposés aux têtes et au puits Bellepeire et munis de 2 bouches de 100mm et d'une bouche de 65mm. Le puits de Bellepeire est équipé d'une colonne sèche de 150mm. (Voir plus haut les photos des aménagements des 3 points d'accès.)

La différence d'altitude de 153m entre les deux têtes a nécessité d'installer cinq stabilisateurs pour réguler la pression.



Repérage des niches situées face aux stabilisateurs.

Le dispositif en situation normale ou en situation dégradée avec réalimentation est en capacité de fournir deux bouches simultanément avec un débit unitaire de 60 m³/h à une pression de 12 bars.

Aéragé

Le tunnel est ventilé naturellement par l'effet conjugué du pistonement des trains et des écarts de pression atmosphérique entre les têtes de l'ouvrage ce qui est conforme à l'ITI qui ne prévoit pas de ventilation mécanique pour ce type de tunnel.

6 - CONCLUSION

L'approche sécurité d'un tunnel ferroviaire ne peut s'effectuer en dehors d'une prise en considération du système ferroviaire complet englobant l'ouvrage, le matériel roulant et les conditions d'exploitation.

Le tunnel de Marseille destiné uniquement à un trafic de rames TGV modernes constitue un cas à part dans l'ensemble des tunnels du patrimoine ferroviaire français en rais-

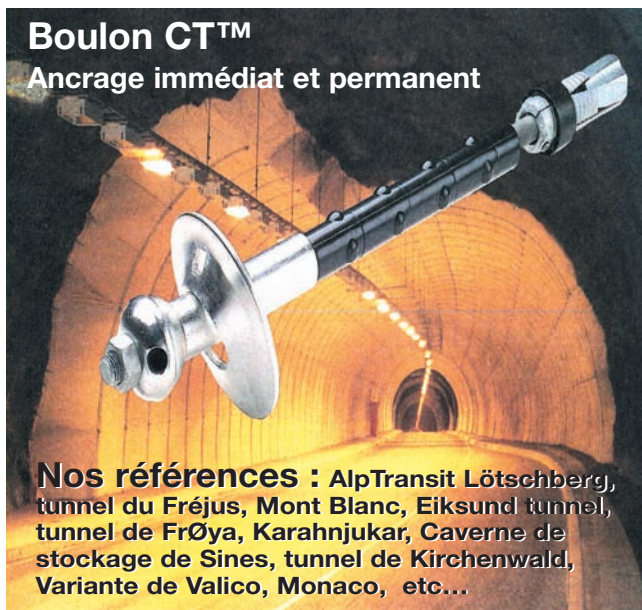
son de sa longueur inhabituelle. Outre les dispositions classiques destinées à empêcher l'apparition d'un incident critique à l'intérieur de l'ouvrage, de nombreuses mesures complémentaires ont été prises afin de faciliter les opérations de secours dans l'hypothèse où un incident grave viendrait à se produire. Ces mesures répondent en particulier aux exigences réglementaires récentes contenues dans l'ITI 98 300, bien que la conception de l'ouvrage soit antérieure à sa parution et s'inscrivent dans les finalités des futures spécifications techniques d'interopérabilité des réseaux ferroviaires européens, en particulier des STI sécurité des tunnels.

La réflexion sur la sécurité n'est jamais terminée. Des progrès sont attendus notamment dans les domaines de la prévention et du diagnostic précoce d'incident qui constituent la base essentielle de la maîtrise de la sécurité du transport ferroviaire. Ainsi la précision du repérage des rames à l'arrêt est certainement l'une des pistes possibles pour améliorer encore le niveau de sécurité en tunnel.

Orsta Stal

votre partenaire pour les ancrages en tunnels et ouvrages souterrains

Boulon CT™
Ancrage immédiat et permanent



Nos références : AlpTransit Lötschberg, tunnel du Fréjus, Mont Blanc, Eiksund tunnel, tunnel de Frøya, Karahnjúkar, Caverne de stockage de Sines, tunnel de Kirchenwald, Variante de Valico, Monaco, etc...

Orsta Stal Europe

04 76 73 75 17 / 06 08 32 9926

patrick.saby@orsta.com

www.ct-bolt.com



Ørsta Stål