

AMÉLIORATION DE LA SÉCURITÉ EN TUNNEL ROUTIER

Mise aux normes Poids Lourds du Tunnel de Foix

Christian CHÉREAU

Direction de l'Ingénierie SNCF - IGOA

Franckie VALOTAIRE

Direction de l'Ingénierie SNCF - IGOA

Marc VETTER

Direction Départementale de l'Équipement de l'Ariège



AMÉLIORATION DE LA SÉCURITÉ EN TUNNEL ROUTIER. MISE AUX NORMES "POIDS LOURDS" DU TUNNEL DE FOIX

L'incendie dans le tunnel du Mont Blanc en 1999 amena à modifier les dispositifs de sécurité du tunnel routier de Foix, alors en construction depuis 1996, entraînant un retard de son ouverture en 2001, pour les seuls véhicules légers. Des travaux d'amélioration supplémentaires furent réalisés en 2004 pour permettre l'ouverture du trafic aux poids lourds, portant essentiellement sur : la reprise des cloisons des gaines de désenfumage, le renforcement de la protection au feu des structures, la ventilation et le désenfumage, le complément des équipements de sécurité. En conclusion, les auteurs mettent l'accent sur la problématique complexe soulevée par l'amélioration de tenue au feu d'un ouvrage existant, distincte de celle rencontrée lors de la conception d'un ouvrage neuf.

SAFETY IMPROVEMENTS IN THE FOIX TUNNEL TO COMPLY WITH REGULATIONS APPLYING TO HEAVY-WEIGHT VEHICLES

The fire occurred in the Mont Blanc tunnel in 1999 led to modify the safety structures of the Foix road tunnel under construction since 1996, thus delaying its opening -for light vehicles only- in 2001. Additional works were carried out in 2004 to permit the traffic of heavy vehicles. The paper describes the original safety equipments and the complementary works carried out : reinforcement of the smoke duct side-walls, upgrading the fire-protection of structures, improvement of ventilation and smoke evacuation, additional fire-safety equipments. As a conclusion, the authors point out the complexity of improving the safety equipments in a tunnel under service compared to similar works planned before construction.

1 - HISTORIQUE DU TUNNEL

Le creusement du tunnel de Foix a débuté en 1996. Au cours de sa construction, le tunnel a fait l'objet d'un complément d'études en matière de sécurité à la suite de l'incendie du tunnel de Mont-Blanc en 1999. Des escaliers en fond de chaque abri ont été réalisés afin de permettre aux services de secours d'évacuer les usagers, sans emprunter le tunnel en cas d'incendie.

Malgré ces améliorations, les conditions de sécurité imposées par la circulaire interministérielle n° 2000-63 du 25 août 2000 relative à la sécurité dans les tunnels routiers du réseau national n'étaient pas entièrement satisfaites notamment en matière de tenue au feu des structures.

Le tunnel a donc été ouvert uniquement à la circulation des véhicules légers en février 2001.

Dès 2001, la DDE de l'Ariège mettait tout en œuvre pour réaliser au plus tôt la mise aux normes poids lourds du tunnel de Foix et demandait au CETU d'établir une analyse détaillée des points à améliorer. Un appel d'offre de maîtrise d'œuvre de conception-réalisation a été lancé dès janvier 2002. Les travaux d'amélioration préconisés dans le rapport du CETU et validés par le CESTR (Comité d'Évaluation de la Sécurité des Tunnels Routiers)* ont été réalisés durant l'année 2004.

L'ouverture à la circulation des poids lourds dans le tunnel est autorisée depuis le 30 novembre 2004.

2 - SITUATION

Le tunnel de Foix, situé sur la RN 20, est un maillon essentiel de l'axe européen A9 assurant la liaison PARIS - TOULOUSE - BARCE-

LONE. Il fait partie d'un ensemble d'ouvrages routiers constituant la déviation de la ville de FOIX.

Sur le plan local, ce tunnel relie la région toulousaine aux nombreux sites touristiques situés dans les départements de l'Ariège, des Pyrénées Orientales et permet aussi d'accéder plus rapidement à la principauté d'ANDORRE.



Figure 1 - Situation géographique

3 - ENJEU ÉCONOMIQUE

La RN20 assure le lien entre les pôles toulousains, andorrans et catalans.

La volonté politique de promotion de cet axe s'est traduite par des investissements importants, aussi bien côté espagnol (tunnel de Cadi, voie rapide Berga - Barcelone), andorran (tunnel sous l'Envalira) que côté français (tunnel du Puymorens, sections à 2 x 2 voies entre Toulouse et Tarascon sur Ariège).

Au début des années 1990, Foix était encadrée par plusieurs sections routières à 4 voies, sur environ 30 km de longueur, tant au nord qu'au sud.

En 1994, Foix devenait ainsi la seule ville non munie d'une voie de contournement sur le tronçon Pamiers-Tarascon, ce qui faisait

* depuis mars 2006 (Décret juin 2005), CNESOR, Commission Nationale d'Évaluation de la Sécurité des Ouvrages Routiers

Des dispositifs de sécurité complètent ces ouvrages :

- Un système de ventilation et d'évacuation des fumées de type semi-transversal. L'air frais du tunnel est insufflé en partie basse des piédroits et en partie haute au travers de la dalle. L'air vicié est refoulé aux têtes via les mouvements d'air internes au tunnel.
- Le tunnel est équipé de 43 trappes de désenfumage à ouverture télécommandée réparties tous les 48 m. Elles sont gérées par groupe de 8 trappes consécutives permettant l'extraction des fumées au plus proche de l'incendie. L'insufflation de l'air frais et l'aspiration des fumées sont assurées par deux usines de ventilation situées à chaque extrémité du tunnel. Chaque usine de ventilation prend en charge une demi-longueur du tunnel pour constituer deux cantons de 1000 m environ.
- Un dispositif de recueil des effluents liquides. Un caniveau à fente continue inséré dans le trottoir récupère les liquides déversés sur la chaussée. Ce caniveau est connecté tous les 50 m, par l'intermédiaire de regards siphoniques, à un collecteur longitudinal de 300 mm placé sous le trottoir. Ces produits ainsi collectés sont récupérés dans des bassins de rétention situés à chaque tête de l'ouvrage. Leur capacité unitaire est de 240 m³.
- Un système d'éclairage artificiel comportant un éclairage de base et un éclairage de renforcement. L'éclairage de base est réparti sur toute la longueur de l'ouvrage. Placé en sous-face de la dalle à l'aplomb des 2 files de circulation, il est allumé de façon permanente. Son intensité lumineuse est variable selon plusieurs scénarios adaptés à la luminosité extérieure. Il est constitué d'un circuit normal et d'un circuit secours. L'éclairage de renforcement se superpose à l'éclairage de base sur une cinquantaine de mètres à chaque entrée du tunnel. Il est implanté sur la demi-chaussée entrant dans le tunnel. Il est utilisé de jour et régulé en fonction des conditions de la luminosité extérieure.
- Une alimentation électrique sécurisée assurée par 2 postes de livraison disposés à chaque tête de l'ouvrage. Ces postes sont capables de se secourir mutuellement. En complément, une autonomie de 30 minutes est assurée par onduleurs pour les équipements raccordés au circuit secours du tunnel.
- Un contrôle permanent de l'atmosphère du tunnel assuré par 2 opacimètres et 6 analyseurs de monoxyde de carbone.
- Un contrôle permanent de courant d'air longitudinal du tunnel obtenu par 4 anémomètres régulièrement répartis dans le tunnel.

- Un contrôle visuel permanent assuré par 21 caméras positionnées tous les 100 m en tunnel, 4 caméras dans les abris et 2 caméras à l'extérieur du tunnel. L'ensemble de ces caméras est relié à un dispositif de Détection Automatique d'Incident (DAI).
- Un balisage de sécurité constitué de plots de jalonnements espacés tous les 24 m sur chacun des piédroits.



Figure 4 - Section courante du tunnel

- Un câble rayonnant suspendu en voûte sur toute la longueur du tunnel. Il permet d'assurer à l'intérieur de l'ouvrage la continuité des ondes radioélectriques utilisées par les services de secours et les équipes dédiées à la gestion du tunnel. Il permet aussi de transmettre par voie hertzienne des messages d'urgence directement sur les radios des véhicules empruntant le tunnel.
- Une signalisation fixe lumineuse constituée des panneaux de police et des panneaux d'informations routières fixés à mi-hauteur de piédroits.
- Une signalisation dynamique extérieure constituée de barrières de fermeture associées à un panneau à messages variables (PMV) et à un feu rouge interdisant l'accès au tunnel en cas d'incident.

4.3 - La surveillance du tunnel

La surveillance du tunnel est confiée aux services techniques de la DDE de l'Ariège. Elle est assurée 24h/24 conjointement par le Centre d'Ingénierie et de Gestion du Trafic (CIGT) et le Centre d'Exploitation et d'Intervention (CEI).

Assisté de la Gestion Technique Centralisée (GTC), le pupitre posté au CIGT surveille à distance le tunnel à partir d'écrans de supervision associés au réseau de caméras implantées dans le tunnel. Le CIGT est situé à 4 km au sud du tunnel sur la commune de St Paul de Jarrat.

En complément à cette surveillance déportée, une reconnaissance visuelle sur site est effectuée deux fois par jour par les patrouilleurs du réseau routier. De plus, une équipe d'intervention du CEI est mobilisable à tout moment pour répondre au traitement des éventuels incidents.

Ce dispositif de surveillance, mis en place dans le cadre du tunnel de Foix, répond au critère de degré D4 au sens de la circulaire interministérielle n°2000-63.

5 - LES TRAVAUX D'AMÉLIORATION DE LA SÉCURITÉ DU TUNNEL

A la suite du rapport d'analyse établi par le CETU et à l'avis du Comité d'Évaluation de la Sécurité des Tunnels Routiers (CESTR) remis en 2002, il a été décidé de réaliser un certain nombre de travaux d'amélioration relatifs à la sécurité du tunnel par application des directives préconisées dans la circulaire interministérielle n°2000-63.

Ces travaux d'amélioration portent essentiellement sur :

- la reprise des cloisons des gaines de désenfumage,
- le renforcement de la protection au feu des structures,
- la ventilation et le désenfumage,
- le complément des équipements de sécurité.

5.1 - Reprise des cloisons existantes

Lors de la mise en service en 2001, les cloisons des gaines de ventilation et de désenfumage sont constituées de parpaings de béton cellulaire d'une épaisseur de 20 cm (produit Ytong). Compte tenu des critères de débit de désenfumage imposés par la circulaire n°2000-63 (augmentation de 80 m³/s à 165 m³/s) ces cloisons ne remplissent plus leur rôle, ni vis-à-vis de l'étanchéité à l'air, ni vis à vis de la stabilité structurelle.

Pour répondre à ces nouvelles contraintes, des voiles en béton armé auto-plaçant (BAP) ont été réalisés en remplacement des cloisons existantes. L'emploi d'un BAP a été préconisé pour sa particularité de mise en œuvre sans vibration, sa faible granulométrie et son aspect lisse limitant ainsi les pertes de charges aérauliques. Les voiles, solidaires des dalles de faux plafond, sont ancrés en pied et autorisent en tête un déplacement vertical et longitudinal pour prendre en compte la déformation des dalles de faux plafond soumises à de fortes élévations de température en cas d'incendie en tunnel.



Figure 5 - Coffrage de la gaine de désenfumage

Les calculs ont montré que le déplacement vertical pouvait atteindre 40 mm au droit des cloisons sous l'action d'un feu HCM d'une durée de 2 heures déclaré en sous-face de la dalle. Un espace de 60 mm est donc ménagé entre la voûte du tunnel et la partie supérieure des voiles pour absorber ce déplacement vertical. Ce vide est comblé par un joint coupe-feu constitué d'un cordon compressible à base de fibres minérales recouvert d'un mastic assurant le rôle d'étanchéité à l'air et aux fumées.



Figure 6 - Joint coupe-feu en tête de cloison

Les voiles sont coulés par plots de 12 m env. de longueurs identiques aux plots de la dalle. Des joints verticaux entre les plots de voiles sont réalisés afin de conserver la dilatation longitudinale de l'ensemble de la dalle de faux plafond. Ces joints sont constitués de cordons coupe-feu de 20 mm recouverts d'un mastic assurant la fonction d'étanchéité à l'air et aux fumées.

L'aspiration des fumées engendre des pressions et dépressions importantes sur les cloisons. Pour reprendre ces efforts, le blocage

latéral en tête de voile est assuré par des goujons en acier inoxydable. Ces goujons sont espacés tous les mètres. La partie mâle du goujon est ancrée à la voûte par scellement chimique. La partie femelle est noyée dans le béton des cloisons.



Figure 7 - Cordon coupe-feu

5.2 - Tenue au feu des structures

Au regard de la circulaire interministérielle n°2000-63, l'évolution des critères de tenue au feu des structures entre le début de la construction du tunnel et la réalisation des travaux d'amélioration réside essentiellement en la prise en compte d'un incendie de référence dont les caractéristiques de température passent de 800°C suivant la courbe ISO 834 à 1300°C suivant la courbe HCM (HydroCarbure Majoré) pour une durée de 2 heures.

Lors de la mise en service en 2001, la dalle de faux plafond du tunnel de Foix était dimensionnée pour une tenue au feu de 2 heures sous l'effet d'un incendie de référence à 800°C suivant la courbe ISO 834 mais seulement 30 minutes sous l'effet d'un incendie de référence à 1300°C suivant la courbe HCM.

Il a donc été nécessaire de renforcer la tenue au feu de la dalle de faux plafond et des cloisons de la galerie de désenfumage.

Deux principes de protection thermique ont été retenus.

- la protection thermique par mortier réfractaire pour la sous-face de la dalle de faux plafond
- la protection thermique par plaques rapportées pour les cloisons des gaines techniques

Pour définir les caractéristiques et les épaisseurs des protections thermiques à mettre en place, des critères de température ont été fixés à partir des comportements thermiques de chacun des matériaux constituant les

structures (granulats, béton, armature). Les protections thermiques garantissent une température maximale de 350°C à l'interface protection thermique/béton et 250°C à l'interface béton/armature. Un critère supplémentaire a été imposé pour les locaux ou galeries recevant du public. La température surfacique de ces parements est limitée à 60°C.

Le matériau constituant la protection thermique est classé incombustible (MO) et stable au feu HCM pendant une durée de 2 heures.

5.2.1 - Protection thermique par mortier réfractaire

Ce type de protection est constitué d'un mortier réfractaire isolant, à très haute température, projeté sur un grillage en acier galvanisé de maille carrée de 50 mm. Sa composition est à base de liant hydraulique comportant principalement du ciment (20 %) et de l'argile (60 %).



Figure 8 - Mortier réfractaire plot de 1,50m

Avant toute opération, la dalle a été entièrement décapée par sablage pour assurer une bonne adhérence du mortier au béton. Ensuite le grillage, conditionné en rouleau, est tendu puis fixé au béton de structure. La mise en œuvre du mortier s'effectue, en plots alternés, par bandes de 1,50 m encadrées par des profilés métalliques servant de gabarit d'épaisseur. Avant durcissement, le mortier est tiré à la règle métallique sur les gabarits puis lissé.



Figure 9 - Protection par mortier réfractaire

Les caractéristiques de ce complexe (mortier réfractaire+grillage) ont été testées au TNO, laboratoire hollandais spécialisé dans les essais de tenue au feu. Un essai a été réalisé en vraie grandeur sur une dalle en béton de 4 m x 2,50 m x 20 cm représentant un élément significatif de la dalle de faux plafond. Cet échantillon a été confectionné dans les conditions de l'existant à partir de la formulation de béton retenue pour la construction du tunnel. Les résultats de cet essai ont montré qu'une épaisseur de 28 mm de mortier réfractaire était suffisante pour répondre aux critères de température imposés.

Le mortier réfractaire Fire Barrier 135 a été mis en œuvre sur les 21000 m² que comporte le faux plafond du tunnel.

5.2.2 - Protection thermique par plaques rapportées

Compte tenu de la présence de fumée chaude en gaine de désenfumage, les parements intérieurs de celle-ci sont soumis à un feu de référence HCM 120. Les voiles en béton brut ne peuvent résister à ces élévations de température, il faut donc les protéger.

Les calculs ont montré que la température des fumées chaudes en gaine de désenfumage pouvait atteindre 1200°C à proximité des ouvertures et s'atténue très rapidement dès que l'on s'éloigne des trappes.

La protection thermique a donc été appliquée sur la dalle et sur les faces internes de la gaine de désenfumage sur une longueur de 8 m de part et d'autre des trappes et sur une longueur de 3 m en voûte au droit des trappes.



Figure 10 - Protection par plaques rapportées

La solution de protection thermique par plaques rapportées a été retenue pour des raisons de facilité de mise en œuvre à l'intérieur de volumes exigus.

Cette protection thermique est constituée de plaques isolantes bi-couches composées d'une couche "écran" d'épaisseur 10 mm et d'une couche "isolant" d'épaisseur de 25 mm. Ces épaisseurs sont spécifiques aux configurations rencontrées au tunnel de Foix. Ces plaques de dimension 1200 mm x 600 mm x 35 mm sont prédécoupées en usine. Elles sont encollées puis appliquées sur le béton. Leur fixation mécanique est assurée par la mise en place de chevilles à expansion inox A4 à raison de 2 fixations par plaque. Des rondelles triangulaires garantissent une bonne répartition du couple de serrage et minimisent le poinçonnement. Le serrage est contrôlé par clé dynamométrique réglée à 15 N.m. (figure 11).

Les modèles et définitions des épaisseurs de ces plaques ont fait aussi l'objet d'essais au feu.

Cette méthodologie a été reconduite à divers endroits du tunnel nécessitant une protection thermique HCM120 de petite surface tels que les parois exposées à un incendie dans le tunnel. Les zones traitées par plaques rapportées sont les façades des refuges et les façades d'usine de ventilation.

5.3 - La ventilation du tunnel

Trois systèmes de ventilation co-existent dans le tunnel.

- le système de désenfumage,
- le système de ventilation d'air frais du tunnel,
- le système de ventilation d'air frais des refuges.



Figure 11
Protection par plaques rapportées

5.3.1 - Le système de désenfumage

Le désenfumage est assuré par 2 paires de ventilateurs répartis dans les usines de ventilation disposées aux têtes. Chaque ventilateur a un débit unitaire maximum de 55 m³/s. La gaine de désenfumage était dimensionnée pour un débit d'extraction des fumées de 80 m³/s. Dans le cas du tunnel de Foix, l'application de la circulaire interministérielle N° 2000-63 conduit à porter le débit minimal d'extraction à 165 m³/s.

L'amélioration de ce débit est obtenue par une meilleure étanchéité des cloisons, une optimisation de l'écoulement de l'air sur l'ensemble de la gaine et par une augmentation de la section de la gaine de désenfumage.

La distance entre les nouvelles cloisons a été augmentée de 30 cm par rapport à la situation initiale afin de dégager une section de 5,30 m² et de limiter les pressions sur les cloisons.

Les pertes de charges ont été réduites par mise en place d'un carénage des trappes et de leurs équipements (moteurs, dispositif d'ouverture,...), par la mise en place de joints étanches en tête des cloisons et par la réalisation de cloison en BAP respectant un degré de finition de type "parement fin".

5.3.2 - Le système de ventilation d'air frais du tunnel

La ventilation d'air frais du tunnel est assurée par 4 ventilateurs répartis par paires dans chacune des usines de ventilation. Ils desservent chacun une demi-longueur de galerie technique soit 1000 m environ. La galerie Est diffuse l'air frais en partie haute du tunnel par l'intermédiaire de bouches de soufflage traversant la dalle. La galerie Ouest assure l'amenée d'air frais en partie basse du tunnel par l'intermédiaire de carneaux espacés tous

Amélioration de la sécurité en tunnel routier. Mise aux normes Poids Lourds du Tunnel de Foix

les 12 m. Ces carneaux sont reliés à la gaine Ouest par des ensembles de 3 tubes de diamètre 165 mm.

La galerie Ouest, raccordée aux escaliers des refuges, est utilisée par les services de secours en cas d'incendie dans le tunnel. La circulaire impose de sécuriser la ventilation de cette gaine. La solution retenue dans le tunnel de Foix a été de réaliser une connexion aéraulique, appelée by-pass, entre les conduits de ventilation des gaines Ouest et Est. Le by-pass est installé dans chaque usine de ventilation. Le by-pass consiste par l'intermédiaire de volets motorisés à amener de l'air frais dans la gaine Ouest depuis le ventilateur destiné à alimenter la gaine Est. Le basculement automatisé de l'air d'une gaine à l'autre s'effectue en présence simultanée d'un incendie en tunnel et d'un défaut de fonctionnement du ventilateur de la gaine Ouest (figure 12).

Suite au décalage de la cloison Est, la section de gaine d'air frais Est a été réduite. Toutes les bouches de soufflage de cette gaine ont fait l'objet d'un réglage fin afin d'obtenir une diffusion régulière de l'air frais sur l'ensemble du tunnel.

5.3.3 - Le système de ventilation d'air frais des refuges

Les abris N°1 et N°2 sont ventilés depuis l'usine Nord par une conduite principale de 550 mm de diamètre placée dans la gaine Ouest. Au droit des escaliers, en piquage sur la conduite principale, 3 gaines de 200 mm de diamètre aboutissent aux abris. Ces 2 abris sont alimentés en permanence par 2 ventilateurs plus un troisième ventilateur mis en marche automatiquement en cas de défaillance d'un des deux ventilateurs principaux. Ce système de ventilation fonctionne suivant deux régimes : un régime de ventilation sanitaire 415 m³/h et un régime incendie 2500 m³/h.

Les abris N°3 et N°4 sont alimentés de façon similaire depuis l'usine de ventilation Sud.

La mise en place de registre fixe sur chacun des piquages a permis d'équilibrer les débits entre abris sur un même réseau et d'assurer une différence de pression de 80Pa env. entre l'abri et le tunnel.

La circulation de l'air s'effectue dans le sens abri-sas-tunnel. La décompression est obtenue par l'intermédiaire de nouveaux clapets coupe-feu HCM120 munis de volets de suppression et de registre de dosage. Leur fermeture est assurée automatiquement par fusible de température se déclenchant à 70°C. (figure 13)



Figure 12
By-pass usine
de ventilation nord



Figure 13 - Porte et clapet HCM 120

5.4 - Les équipements de sécurité complémentaires

Le contrôle continu de l'atmosphère du tunnel est complété par 4 capteurs d'oxyde d'azote. Ces capteurs NO répartis dans le

tunnel sont placés en piédroit à mi-hauteur de la section circulée. Les mesures relevées par ces capteurs sont enregistrées et transmises automatiquement à la GTC. Selon la valeur mesurée, le dispositif déclenche le scénario de désenfumage ou de ventilation préenregistré.

Une signalisation dynamique intérieure au tunnel constituée de 4 Panneaux à Messages Variables (2 dans chaque sens de circulation) a été mise en place afin de mieux prévenir les usagers. Ces PMV sont regroupés par paires. Ils sont placés dos à dos et implantés en sous-face de la dalle du tunnel à 800 m de chaque tête. Chaque PMV est composé d'une ligne de 15 caractères alphanumériques de 250 mm de hauteur. La ligne de texte est encadrée par 2 feux rouges clignotants de type R24 conformément à la réglementation du Code de la route. Ces feux sont actionnés selon le type de message présenté.

Des signaux d'arrêt de type R24 implantés sur le piédroit du tunnel à 25 m en amont de chaque PMV viennent confirmer l'arrêt absolu demandé par le message.

Le balisage de sécurité constitué de plots de jalonnement encastrés dans les piédroits est

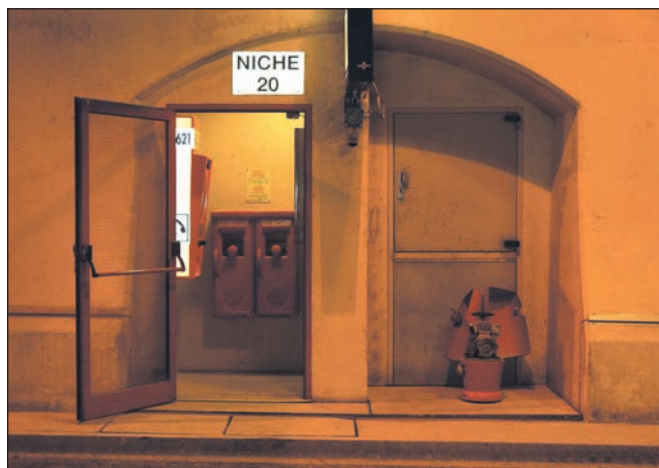


Figure 14
Niche de sécurité
et incendie

doublé pour ramener leur espacement à 12 m. La matérialisation de l'interdistance entre véhicules à respecter par les automobilistes est obtenue par la mise en place de plots de jalonnement de couleur bleue au lieu de couleur jaune en zone courante. Ces plots bleus sont disposés tous les 48 m.

Les panneaux de signalisation des niches de sécurité ont été remplacés pour être conformes à la nouvelle réglementation. Ils sont constitués d'un caisson en inox lumineux sur les 2 faces rassemblant verticalement les panneaux CE29 "moyen de lutte contre l'incendie" et CE2a "poste d'appel d'urgence". Leur alimentation électrique réalisée par câble CR1-C1 est raccordée sur le circuit secouru du tunnel.

L'équipement des niches de sécurité a été complété par la mise en place d'un second extincteur d'une capacité de 6 kg, de performance 13A et 183B. Cet extincteur est placé dans un coffret antichoc fixé au parement du fond de niche.

Afin de faciliter l'accès aux abris en cas de visibilité réduite dans le tunnel (présence de fumée), il a été mis en place un éclairage puissant dont le rayon lumineux est dirigé horizontalement et transversalement à la section du tunnel. Cet éclairage est constitué de 4 projecteurs équipés de lampes halogènes à double enveloppe d'une puissance de 300W chacun. Ces projecteurs sont insérés dans des caissons métalliques disposés de part et d'autre de la porte d'accès à l'abri. Ils sont asservis au démarrage des ventilateurs de désenfumage.

Les portes des abris et des usines de ventilations d'un degré coupe-feu 2 heures selon la courbe ISO834 en communication avec la section routière du tunnel n'étaient plus conformes à la réglementation. Elles ont été remplacées par des portes de même dimension mais possédant un degré coupe-feu de 2 heures selon la courbe HCM. Certaines portes sont particulièrement imposantes. La porte de l'usine de ventilation sud présente une hauteur de 3 m et une largeur de 3,30 m (figure 15).



Figure 15 - Porte HCM 120 usine sud

Au droit des chambres de tirage et des dalles de caniveau en tunnel, la protection thermique des câbles électriques et de transmissions de données a été renforcée par la mise en place d'un complexe coupe-feu 2 heures HCM en sous-face des dalles de fermeture. Ce complexe est constitué de 2 plaques d'isolant thermique. Un joint intumescent placé sur le pourtour du complexe assure la continuité du degré coupe-feu.

6 - LES INTERVENANTS

6.1 - La maîtrise d'ouvrage

L'Etat, par son Ministère de l'Équipement, du Logement et des Transports, a délégué la maîtrise d'ouvrage à la Direction des Routes qui est représentée par la Direction Départementale de l'Équipement de l'Ariège.

6.2 - La maîtrise d'œuvre

La maîtrise d'œuvre Etudes et Travaux est assurée par la Direction de l'Ingénierie de la SNCF (division tunnel du département des ouvrages d'art). Elle a été assistée par la société LIGERON pour la partie équipements dynamiques et transmission des données.

6.3 - Les entreprises

Les travaux ont été réalisés par les entreprises groupées solidaires Sogea Sud-Ouest TP / Campenon Bernard Régions / CEGELEC Centre-Est / CEGELEC Sud-Ouest.

L'entreprise Sogea Sud-Ouest TP, mandataire du groupement, s'est adjoint l'appui d'entreprises sous-traitantes pour réaliser les travaux spécifiques:

INGEROP (calcul thermodynamique), IFS et JULIO CRESPO (mortier réfractaire), HOWDEN (ventilation désenfumage), EXTHA

(plaque isolante), TNO (laboratoire d'essai de tenue au feu), OPTIFIB (signalisation dynamique, PMV), TTS (panneau signalisation lumineuse), TINEA (reprogrammation du logiciel de pilotage de la GTC), MIDI ETANCHEITE (joint coupe-feu), TYCO (porte coupe-feu).

7 - DÉLAIS

Les travaux ont débuté en janvier 2004 par une période de préparation d'une durée de 5 mois incluant les essais de tenue au feu. La période d'exécution hors circulation routière s'est déroulée sur une période de 6 mois à partir de la mi-mai pour une mise en service le 30 novembre 2004.

8 - COUT

Le coût de l'opération de mise aux normes poids lourds du tunnel s'élève à 10 M€, et porte le coût total de l'ensemble de la déviation à 112 M€.

9 - CONCLUSION

L'amélioration de la tenue au feu d'un ouvrage déjà construit et en service constitue une problématique complexe qui se distingue de celle rencontrée lors de la conception d'un ouvrage neuf.

Elle nécessite de faire appel à de multiples compétences tant au niveau de la conception que de la réalisation, et à mettre en œuvre des solutions innovantes pour s'adapter à l'existant.

La mise en œuvre d'un complexe d'isolation thermique à base de mortier réfractaire dans le tunnel de Foix, premier tunnel français à être traité par ce procédé en est un exemple significatif.

QUELQUES CHIFFRES

Cloison :	2 x 2100 ml	Cadence	
Béton BAP :	1200 m ³	Bétonnage cloison :	36 ml/jour réparti sur 3 outils coffrants de 12 m.
Coffrage :	10000 m ²	Durée de bétonnage :	2 heures/outils
Mortier réfractaire :	21000 m ²	Décoffrage :	après 14 heures
Plaque :	5000 m ²	Décapage sous-face dalle :	600 m ² /jour
Joint coupe feu :	4200 m	Mortier réfractaire :	360 m ² /jour

Caractéristique béton BAP

Résistance à 28 jours :	50 MPa
Étalement :	73 cm moyen
Granulats calcaire	