

Tunnels ferroviaires : la voie béton, solution pour améliorer la sécurité

Les arguments en faveur de la voie béton en tunnels ferroviaires sont très nombreux : amélioration des conditions d'intervention des secours, évacuation facilitée des usagers en cas d'accidents, amélioration de la pérennité de l'ouvrage, réduction des nuisances, des poussières et du bruit, augmentation du confort des passagers, opérations de maintenance et d'entretien plus rapides et plus simples, coûts de construction réduits pour la maintenance de la voie, mise en conformité au gabarit européen sans retailler le tunnel...



Tunnel du Pragal (Portugal) d'une longueur de 2 km, mis en service en l'an 2000. Ce système de voie béton procure un accès aisé aux véhicules de secours et de maintenance : on distingue, sur la gauche, le poteau d'incendie pour l'alimentation de la colonne sèche.

Au cours de ces dernières années, de nombreuses sociétés ferroviaires européennes se sont résolument engagées à moderniser leur réseau et à favoriser l'innovation technique, tout en améliorant les conditions globales de sécurité. De nombreuses études, suivies de réalisations récentes, montrent la fiabilité de ces techniques. De plus, la réduction des coûts est réelle et la sécurité globale de l'ouvrage est augmentée : transposer ces techniques dans les tunnels pour améliorer la sécurité est ainsi devenu une réalité.

LA NÉCESSAIRE AMÉLIORATION DES CONDITIONS DE SÉCURITÉ

Comme les tunnels routiers, où depuis 1949 on a dénombré 36 incendies significatifs, les tunnels ferroviaires peuvent être aussi le siège de catastrophes et d'incendies sévères. Pour ces derniers, 23 sinistres ont été recensés et analysés, dont 6

en France, parmi lesquels deux ont marqué les esprits, aussi bien par leur intensité que par les pertes en vies humaines ou les pertes d'exploitation. Le premier a lieu en 1972, année où le Tunnel de Vierzy (Aisne) est le siège d'un très grave accident : suite à un éboulement, deux trains de voyageurs se percutent de front. On dénombrera plus de cent morts. Ce sinistre décidera la SNCF à lancer une campagne d'investigation de ses tunnels, en vue de procéder à leur rénovation.

Le second accident a eu lieu en 1996 : le déraillement et l'incendie d'une navette de fret dans le tunnel sous la Manche causent d'importants désordres à la structure et à la voie de cet ouvrage, avec pour conséquence la fermeture du tunnel pendant deux ans. Par la suite, les incendies récents dans les tunnels du Crêt d'eau (2002) et de Mornay (2003) ont mis en évidence la faiblesse des moyens de prévention et de secours pour procéder à l'évacuation des personnes, en raison de la difficulté à cheminer sur le ballast.

LES TUNNELS FERROVIAIRES : ENJEUX DE SOCIÉTÉ

Il s'agit, avant tout, d'une question de préservation de notre environnement et une volonté politique tant française qu'européenne. Le transport des marchandises et des produits dangereux ou combustibles qui les composent devrait, en effet, se faire par le fer plutôt que par la route.

Le transfert d'une partie des marchandises de la route vers le rail, de part le développement du ferroutage, auquel il faut ajouter l'augmentation du trafic voyageurs, agit statistiquement sur les risques d'accidents, notamment dans les sections en tunnels. En conséquence, comme pour les tunnels routiers, les tunnels ferroviaires sont soumis aux mêmes risques d'accidents. La société civile, n'acceptant plus – ou mal – les conséquences des catastrophes, les sociétés concessionnaires et les autorités administratives doivent mettre toutes les chances de leur côté, en donnant la meilleure sécurité possible aux ouvrages potentiellement dangereux.

LES TUNNELS FERROVIAIRES EN FRANCE

À ce jour, on a recensé 1 532 tunnels représentant 640 kilomètres de voies ferrées, dont 1 300 sont en exploitation : 4 ont plus de 5 km de longueur, 15 plus de 3 km, 27 plus de 2 km et 116 plus d'un kilomètre. À noter que, dans notre pays, la construction de près de 50 % de ces tunnels date de la seconde moitié du XIX^e siècle ! Les voies sont pratiquement toutes constituées de traverses (bois ou béton) sur ballast. Si cette technique permet de respecter au mieux les contraintes géométriques du plan de roulement (profil en long et dévers), il convient de souligner ses inconvénients incontournables, générés par la mise en œuvre elle-même : l'usure de la voie est inévitable (il faut alors procéder à des rechargements), les quantités de roches concassées, utilisées pour le ballast, sont importantes, la mise en œuvre génère bruit et poussières (des dispositions doivent être prises pour respecter les conditions de travail réglementaires), le ballast s'use et doit être renouvelé (une dépollution est souvent nécessaire), enfin, les coûts d'entretien sont importants. Il n'est donc pas surprenant que Réseau Ferré de France (RFF) ait affecté 450 millions d'euros à l'entretien de l'ensemble de son réseau.



LA POSE DE VOIES FERRÉES DANS LE MONDE

L'entretien du réseau est, pour tout concessionnaire, une nécessité vitale et une charge financière de première importance. En cas d'usure prématurée et/ou d'incidents, le trafic est détourné ou la vitesse réduite, avec tous les retards et conséquences pour l'économie du gestionnaire, comme pour celle du client initial. En Angleterre, le Réseau Ferré Britannique est en crise à cause du coût trop élevé de la maintenance des voies ballastées : les coûts de maintenance augmentant chaque année, maintenir le réseau en état est une bataille perdue d'avance. Un virage semble toutefois pris avec la mise en service d'une voie béton sur le Channel.

D'autres pays ont constaté les avantages de cette technique. Au Japon, la voie béton existe depuis près de 40 ans et aux États-Unis, elle en est au stade de généralisation. En Allemagne, Pays-Bas, Italie, Espagne et Portugal, la voie béton est de plus en plus utilisée, à l'air libre comme dans les tunnels ferroviaires. Il est démontré que même si le coût d'installation de la voie "fixe", par rapport à la voie traditionnelle en ballast, est plus élevé, les surcoûts sont rapidement amortis, grâce à une diminution importante des coûts de maintenance et une plus grande disponibilité de la voie. En Allemagne, la voie fixe en béton permet d'atteindre une vitesse de 300 km/h, dans des conditions économiques et avec un niveau de confort optimal pour l'usager. En Espagne, depuis deux ans, le Ministère de l'Équipement impose les voies béton pour tous les tunnels de plus d'un kilomètre (type métro, RER ou TGV). Et au nord de Madrid, des essais à grande vitesse (plus de 350 km/h) vont bientôt être réalisés sur deux tunnels de 25 km, en cours de finalisation.

LA VOIE FIXE OU VOIE BÉTON : LES TECHNIQUES POSSIBLES

Trois techniques existent actuellement : toutes utilisent une dalle en béton armé, installée soit en continu grâce à une machine spécialisée (slip-form), soit en éléments préfabriqués, soit par la mise en œuvre de béton coulé en place. Ces trois techniques sont :

- Le système spécialisé de traverses béton noyées dans la dalle béton
- L'attache directe de la voie sur "selles"
- Le rail noyé ou ERS "Embedded Rail System" : les rails sont maintenus dans des gorges moulées dans le béton par l'intermédiaire d'une résine souple.

■ Les traverses béton noyées dans la dalle béton

Les traverses peuvent être maintenues en place de plusieurs façons : la plus courante est l'utilisation de ballast. Si cette méthode est très avantageuse à la construction, elle nécessite cependant une hauteur totale de voie importante et beaucoup d'entretien. Une autre technique existe, consistant à noyer la traverse dans un béton de calage. La pose est facilement réalisable et nécessite peu de maintenance. Les traverses sont équipées d'inserts qui permettent la mise à la hauteur de la



voie, avant le coulage du béton. Les photographies ci-dessus montrent les différentes étapes de la construction de la voie :

- ❶ La pose des traverses béton sur chape béton
- ❷ La disposition d'armatures intermédiaires
- ❸ Le positionnement des rails : selles - boulons - ressorts
- ❹ L'installation de bordures latérales (augets)
- ❺ La constitution de la dalle définitive

Si ce type de voie peut être utilisé en tunnels ferroviaires, l'accès des moyens d'entretien, et notamment des véhicules de type routier, est toutefois limité. La hauteur de construction est proche de celle d'une voie ballastée, ce qui limite l'accès de véhicules routiers pour les opérations d'entretien, mais favorise, en revanche, les conditions de cheminement des personnels ou l'évacuation des usagers en cas d'incidents ou d'accidents.

■ L'attache directe de la voie

Les travaux de pose d'une voie ferrée à attache directe sur dalle mince en béton armé ont concerné la ligne SNCF dite de Moret à Lyon, à proximité ouest de la gare de Saint-Martin d'Estréaux (Loire). Le tunnel non électrifié, à doubles voies, d'une longueur de 1 382 mètres, a fait l'objet d'une campagne de travaux de réhabilitation et de rénovation en 2003, des infiltrations d'eau ayant occasionné des désordres dans le bon fonctionnement de la signalisation, engendrant une instabilité permanente de la plate-forme des voies ferrées s'en était suivie.

La mise en oeuvre d'une épaisseur importante de ballast et l'encombrement de l'assainissement conduisaient à réaliser en terrain rocheux des travaux de terrassements importants.

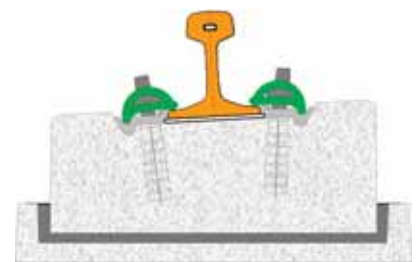
Pour s'affranchir de ces travaux de déroctage lourds et coûteux, RFF, maître d'ouvrage, a retenu sur proposition de la SNCF une solution technique permettant d'optimiser l'encombrement vertical de la voie et de sa structure d'assise, par la réalisation d'une dalle mince en béton, associée à une pose de voie directe sur selles. Cette solution permet de réserver les possibilités d'évolutions ultérieures en matière des gabarits GB et d'électrification.

Innovante pour la France, cette technique ouvre des perspectives permettant de pérenniser le débouché et le dégagement des gabarits, et de réduire les interventions d'entretien des voies. La surface de la dalle mince en béton armé est réglée avec une tolérance de l'ordre du centimètre. Les rails sont fixés sur des selles élastiques "VIPA" usinées et commercialisées par la société Pandroll. Celles-ci sont réglées puis scellées dans le béton, assurant d'obtenir le niveau exact du plan de roulement des rails, conformément aux tolérances prescrites par la SNCF.

Cette pose permet d'envisager un relèvement futur de la vitesse commerciale des trains. Elle facilite son entretien par l'emploi de matériels mécanisés et informatisés. Le ballast présente l'avantage d'être souple et d'absorber les bruits au passage des convois.

Aujourd'hui, les coûts d'entretien des voies et les renouvellements des traverses et du ballast sont lourds et pénalisants. Ces travaux nécessitent, en effet, d'importants tonnages de matériaux, avec ce que cela comporte comme contraintes sur l'environnement, car les manipulations du ballast engendrent, lors de la mise en oeuvre, d'énormes dégagements de poussières, notamment dans les endroits confinés comme les tunnels.

Le rail est fixé par l'intermédiaire d'une selle en acier ou en béton de résine, scellée dans la dalle en béton armé, avec l'avantage d'une faible hauteur du complexe "dalle - support de voie".



■ Le rail noyé ou ERS "Embedded Rail System"

● Description



Une résine de fixation collera définitivement le rail dans la dalle en béton.

Il s'agit d'un système de fixation en continu : les rails sont maintenus dans une engravure qui peut être moulée dans une dalle en béton. La caractéristique principale du système ERS est l'absence totale des éléments de fixation traditionnelle tels que plaques, boulons, selles, ressorts...

Après réglage et calage, le rail est enrobé et collé par une résine bi-composante, dont les capacités mécaniques sont fonction des besoins du projet (atténuation de

bruit ou des vibrations). La résine doit rester invariable dans le temps et résister au rayonnement, aux agressions chimiques, thermiques et mécaniques. Elle doit aussi être facile à employer dans des conditions courantes de chantier :

- Conditionnement adapté des composants
- Consistance et temps de polymérisation réglés au travail à réaliser
- Collage parfait sur toutes les surfaces
- Insensibilité à l'humidité

● Principaux points forts du système ERS

- Réduction des bruits et des vibrations
- Augmentation de la durée de vie des rails, rendue possible par le support vertical et le calage latéral en continu par résine élastique ainsi que par l'absence de forces dynamiques induites par la flexion des traverses
- Réduction de hauteur de construction (tunnels, ouvrages d'art, gares)
- Technique utilisable pour toute la gamme des rails existants
- Soudage et meulage des rails sans contraintes en-dehors de la réservation
- Réglages sans outillage supplémentaire
- Entretien réduit au minimum : plus de fluage des patins, plus de pièces qui se desserrent ou se corrodent
- Facilité du remplacement du rail en cas d'accident

● Avantages financiers

Ils sont perceptibles aussi bien sur le coût de la construction que sur les dépenses d'entretien.

Coût de la construction :

- Réduction du coût de la réalisation par la possibilité d'augmenter le gabarit du tunnel (lors des travaux de rénovation) et de diminuer le diamètre du tunnel (surface bétonnée, excavations) en travaux neufs.
- Réduction du temps de pose des rails (le réglage et le coulage sont plus simples que les fixations classiques) : en tenant compte de l'ensemble des paramètres, la pose en rail noyé est comparable, au niveau économique, aux autres systèmes existants.

Dépenses pour l'entretien :

- Entretien pratiquement nul pour le rail : plus de réglages, plus de boulons à resserrer
- Accès facile pour des véhicules sur pneus : inspection et entretien de l'équipement du tunnel
- Réparations ponctuelles sans problèmes sur les rails : remplacement des rails cassés, rechargement des rails usés...
- En cas d'accidents graves (choc, déraillement, feu), nécessitant de remplacer des longueurs importantes, le support ne bougera pas, rendant les réglages et la pose plus économiques qu'avec des fixations classiques.

● Avantages techniques

- Le rail est, naturellement, isolé électriquement
- Le collage continu donne des valeurs négligeables de dilatation, même sur de grandes longueurs
- La durée de vie des rails est augmentée la disparition d'effet ondulatoire (usure excessive du rail sur les traverses) et des efforts de fatigue.

● Sécurité

- Le support (dalle en béton) est incombustible
- L'accès aux véhicules routiers des premiers secours est possible sans dispositifs supplémentaires
- L'évacuation des passagers n'est pas gênée par les rails, traverses ou autres dispositifs de fixation.

● Diminution du bruit

Le bruit est un élément de confort incontournable. Le système ERS permet la diminution du bruit solidien grâce à la rigidité de l'ensemble du système et l'absence totale de ponts acoustiques entre rail et support. Le bruit aérien est également diminué par l'encapsulation du rail (effet de "silent bloc").

● Références

Le système ERS a été installé dans de nombreux tunnels depuis 1982 : métro de Londres, tunnel sous la Manche, Lantau tunnel (Hong Kong), Pragal (Portugal), Alcobendas-station et Zaragoza (Espagne), Gothanbourg (Suède), Utrecht, Goolboog, Pijnacker et Den Haag (Pays-Bas)...

RAPIDITÉ PAR LA MISE EN PLACE D'ÉLÉMENTS PRÉFABRIQUÉS

La fabrication en usine de plaques d'appui ou dalles préfabriquées pour voie ferrée est une alternative à la constitution de dalle coulée en place. Les premières applications en Hollande datent de 30 ans. La préfabrication en usine d'éléments de dimension importantes (de 2 à 8 mètres de long pour 2,60 m de large et 20 centimètres d'épaisseur) permet des tolérances de fabrication de l'ordre de + ou - 0,1 mm, un "usinage" étant possible. Les éléments peuvent être en béton armé ou précontraint de classe C 55 et les armatures permettent la répartition des sollicitations et charges. Les plaques ainsi réalisées accueillent tous les systèmes : ERS ou classique, les fixations de rails étant alors pré-installées. La pose des éléments est effectuée conformément à la géométrie de la voie sur une couche portante à base de liant hydraulique de 20 à 30 cm d'épaisseur. Les plaques sont ajustées sur chantier grâce à des éléments de calage. Le transport des plaques de près de 10 tonnes est effectué par un engin classique de transport. Sur place, un engin de levage à portique, utilisable à l'air libre comme



Des engins de levage de type "Travellift" sont utilisés pour positionner les éléments de grande dimension.

en tunnel, permet le bon positionnement de chaque plaque préalablement numérotée conformément à la géométrie de la voie. Les plaques sont ensuite assemblées entre elles par un mortier de scellement. Le système a été agréé par l'Office fédéral des chemins de fer allemands.

ÉVALUATION DES RISQUES ET AMÉLIORATION DE LA SÉCURITÉ

Les risques d'accidents

Les accidents en tunnels se traduisent par les mêmes effets que ceux ayant lieu à l'air libre. Sans être exhaustif, on peut citer :

- **Les déraillements d'un convoi** : plusieurs centaines de voyageurs peuvent être impliqués. Il s'agit alors, pour les services de secours, de procéder dans des conditions extrêmes à l'évacuation de nombreuses personnes, suivant le type de train (TER ou TGV). Le risque d'un incendie est alors toujours possible. Quand des marchandises sont en cause, la solution retenue pour les secours sera fonction de la dangerosité des marchandises transportées.
- **Les collisions frontales ou lors de croisements de trains** : des opérations de désincarcération des passagers et le traitement éventuel d'incendies sont à mener. Dans ces opérations, et compte tenu de la configuration des lieux, les secours doivent intervenir dans des conditions défavorables (éclairage réduit, étroitesse et espace confiné, gaz toxiques, vapeurs...).
- **L'incendie** : ce sont les cas les plus graves pour les tunnels ferroviaires et le métro. Selon les cas (incendie de train de voyageurs, transport de matières dangereuses ou de marchandises), les paramètres concernent le développement des fumées, les températures, la destruction des équipements, les victimes et leur évacuation, la durée de l'opération, les moyens à mettre en œuvre, la pénibilité de l'opération.

Les aspects opérationnels

Les difficultés pour traiter ces accidents sont liées aux contraintes d'approche des secours. Il convient de réduire les délais d'évacuation et d'approche afin de permettre aux voyageurs de pouvoir échapper au danger des fumées et aux secours d'arriver au plus près du sinistre. La rapidité sans transfert de charge est primordiale.

Les accès au tunnel

Les moyens de secours en personnels et matériels routiers doivent pouvoir intervenir dans les délais les plus brefs, à l'une ou l'autre des deux têtes des tunnels. La construction de chemins d'accès accessibles aux véhicules et engins spéciaux des pompiers et secouristes est nécessaire.

L'implantation de la plupart des tunnels se situant en zone montagneuse, avec des pentes à fort pourcentage, les pistes doivent être utilisables par tous les temps : c'est pourquoi, le traitement des chemins d'accès par stabilisation au ciment est une bonne solution.

La progression à l'intérieur du tunnel

Les matériels de secours, du type brancards, tuyaux, pompes..., approvisionnés par les pompiers ou stockés aux têtes du tunnel, doivent pouvoir être transportés à l'intérieur, au plus près du sinistre. Des solutions de transport par lorries obligent à des reprises de matériels conduisant à des pertes de temps supplémentaires et à la réduction des capacités de volumes transportés très réduits. Les véhicules rails-routes qui pourraient équiper les pompiers n'apportent qu'une

capacité ponctuelle et ne permettent pas une évacuation rapide et importante des blessés et passagers, notamment dans les tunnels de grandes longueurs. Les pompiers suisses ont été les précurseurs pour trouver des dispositions constructives afin de faciliter l'accès de leurs véhicules de secours.

Les dispositions relatives à la sûreté

Les voies ferrées sont, comme on a pu le vérifier en France, très sensibles aux actions terroristes ou de malveillance. La recherche de dispositifs ou d'engins explosifs piégés, quand ils sont annoncés à l'avance, est toujours longue et difficile. La voie béton, de part la simplicité de ses formes et la difficulté d'y trouver des cachettes, constitue une bonne protection.

Les mesures envisagées

Les mesures de la circulaire publiée en l'an 2 000, après l'accident survenu dans le tunnel routier du Mont-Blanc, concernant les tunnels de longueur supérieure à un kilomètre, sont applicables aux 30 tunnels ferroviaires supportant des conditions de circulations importantes. D'ores et déjà, la SNCF envisage, au niveau des accès, la construction de pistes pour permettre aux véhicules d'accéder au plus près des têtes de tunnels et la création d'escaliers pour que les sauveteurs puissent descendre les talus à l'entrée des têtes. À l'intérieur, est prévue l'installation de prises de courant électrique de 12 KVA, tous les 100 mètres, d'un côté du tunnel, ainsi que de prises géophones. Dans certains tunnels seront mises en œuvre des colonnes sèches. L'ensemble de ces travaux doit être achevé en 2005 et devrait représenter un investissement de 61 millions d'euros sur 3 ans.

CONCLUSION

La nécessité pour les pompiers d'avoir accès à l'intérieur du tunnel dans les délais les plus rapides, conduit à envisager l'application de solutions techniques permettant de pénétrer directement avec camions et moyens lourds, et de pouvoir rouler sur les voies, ce qui est impossible avec des voies posées sur ballast. Une des solutions consiste à supprimer le ballast pour fixer directement les rails sur une dalle en béton armé. De telles techniques existent depuis plusieurs années en Europe et sont régulièrement mises en œuvre pour la construction de voies ferrées, y compris pour des lignes à grandes vitesses. ●



Le tunnel du métro de Madrid (Espagne), station d'Alcobendas : à droite, on aperçoit l'un des ascenseurs permettant la descente directe sur la voie béton de véhicules de secours ou de maintenance.