

Réduction des vibrations dans un tunnel ferroviaire à gabarit réduit sous un immeuble de bureaux : le souterrain Valhubert

Marc Asselineau, Stéphane Mercier

Peutz & Associés

10 B, rue des Messageries

75010 Paris

Tél : 01 45 23 05 00

E-mail : m.asselineau@peutz.fr

s.mercier@peutz.fr

Un peu d'histoire

Pour l'Exposition universelle de 1900, la Compagnie de chemin de fer Paris-Orléans (PO) avait décidé de se doter d'un terminus au cœur de la ville : la Gare d'Orsay. Toutefois, les discussions avec la Ville de Paris ayant rapidement conclu à la nécessité de ne pas perturber la circulation en surface, un tracé souterrain avait été choisi, descendant du niveau des voies de Paris-Austerlitz à celui des quais par l'intermédiaire du souterrain Valhubert passant sous la gare d'Austerlitz. Compte tenu des difficultés qu'auraient engendrées une exploitation vapeur dans de telles conditions, le PO avait opté pour une électrification de ce tronçon, par troisième rail latéral 600 V selon les techniques de l'époque [1]. Cette disposition permettait un gabarit réduit dans les souterrains, en particulier lors de la descente le long de la Seine. Une re-électrification en 1 500 V par caténaire a été réalisée à partir de 1926, rendue particulièrement délicate par le gabarit réduit des ouvrages. En raison des courbes de faible rayon, le matériel de cette ligne a dû être conçu avec des dimensions spécifiques, ce qui a finalement conduit à en éliminer les mouvements grandes lignes dès 1936. Toutefois, l'ouverture de la liaison Invalides-Orsay qui a accompagné en 1979 la création de la ligne C du RER a conduit à une très forte augmentation du trafic sur le souterrain.

Contexte du projet

Près d'un siècle après l'ouverture de la liaison Austerlitz-Orsay, l'ancien bâtiment administratif du PO a été inclus dans une opération de bureaux de standing.

D'un symbole de richesse et de bon fonctionnement, les vibrations au passage des convois dans le souterrain Valhubert sont alors passées au statut de nuisance. Compte tenu du classement de certaines parties du bâtiment, il n'a pas été jugé possible de mettre en œuvre des protections vibratoires au niveau du bâtiment lui-même. De ce fait, il a été nécessaire de prévoir une isolation antivibratoire des voies ferrées. La tâche était d'autant plus délicate que le gabarit réduit ne permettait pas nécessairement une mise en œuvre traditionnelle, de plus le fort trafic ferroviaire de la ligne ne laissait pas d'autre possibilité d'inspection des ouvrages ferroviaires que de 02 h à 04 h. Les travaux eux-mêmes ne pouvaient avoir lieu que pendant une interruption prolongée du trafic dans le cadre des grands travaux menés en été sur les voûtes des souterrains (travaux « Castor »).

Diagnostic initial

L'examen visuel a permis de confirmer plusieurs points délicats : tout d'abord, le gabarit réduit avait conduit le Service de la Voie à opter pour une épaisseur de ballast plus faible que celle habituellement utilisée, partiellement compensée par l'utilisation de traverses de type support d'appareil de voie. Lors d'un précédent renouvellement voie-ballast (RVB), un tapis résilient (de type Sylomer) avait été mis en œuvre, mais ultérieurement une tentative malencontreuse d'utilisation d'une bourreuse mécanique l'avait déchiqueté. Du reste, diverses fixations mécaniques destinées à limiter le ripage de la voie dans la courbe ont été découvertes (figure 1).



Fig. 1 : Le souterrain Valhubert avant réhabilitation. Noter le gabarit réduit, ainsi que les liaisons mécaniques avec les parois du tunnel



Fig. 2 : Traverses de type appareil de voie, amincies à leur extrémité Ouest

Un examen approfondi du bâtiment a montré que l'épaisseur de l'ensemble plancher bas du bâtiment et voûte du tunnel était relativement faible. D'autre part, la couche de ballast était mince par rapport aux épaisseurs usuellement pratiquées. Cette disposition avait été rendue nécessaire lors de l'électrification par caténaire afin de dégager le gabarit en hauteur nécessaire. Le Service de la Voie n'a pas manqué d'indiquer que pour cette raison ce tronçon faisait l'objet d'un bourrage manuel !

Par ailleurs, les traverses, en bois, utilisées dans le souterrain étaient plus larges et plus épaisses que celles classiquement utilisées. Là encore, cette disposition résultait du gabarit réduit, imposant une faible épaisseur de ballast qui nécessitait une surface d'appui plus importante. Certaines de ces traverses étaient amincies sur leur extrémité côté Ouest (figure 2) ; cette disposition avait été rendue nécessaire par la géométrie irrégulière du radier, sous lequel existaient des traversées de réseaux dont la localisation était incertaine.

Enfin, plusieurs traverses étaient de dimensions plus importantes et rigidement connectées aux parois du tunnel. Cette disposition avait été retenue par le Service de la Voie compte tenu de la faible épaisseur de ballast afin de prolonger la durée de vie de la voie, particulièrement sollicitée (24 trains par heure en période de pointe).

Le diagnostic visuel a également permis de découvrir des vestiges d'un traitement antivibratoire au moyen d'un tapis sous ballast de type Sylomer sous l'une des deux voies. Ce traitement n'avait néanmoins pas résisté à un bourrage mécanique de la voie du fait de l'épaisseur réduite de ballast.

Enfin, un ouvrage en béton solidaire des structures du bâtiment (et sans la moindre protection vibratoire) a été mis en évidence à l'entrée du souterrain côté Austerlitz (figure 3). Le diagnostic a mis en évidence de fortes transmissions vibratoires par l'intermédiaire de cet élément.



Fig. 3 : Entrée du tunnel sous le bâtiment administratif. Noter la structure en béton solidaire des parois du tunnel

Des mesurages de niveaux de pression acoustique et de niveaux de vitesse vibratoire ont été réalisés sur les planchers et parois de l'ancien bâtiment administratif au-dessus des voies, ainsi que sur la structure du tunnel. Les résultats de mesures ont mis en évidence que sur une durée de 15 s, correspondant au passage d'un convoi sous le bâtiment, les niveaux de vitesse vibratoire atteignaient en moyenne 87 dB dans le bâtiment, et même 99 dB sur le plancher au-dessus du tunnel, atteignant même 120 dB au niveau des structures du tunnel. Ces mesures ont également mis en évidence des niveaux de pression acoustique de 62 dB(A) sur une durée de 15 s dans les bureaux courants au-dessus du tunnel [2].

Réduction du bruit et des vibrations

Du fait du gabarit réduit, le recours à une pose de voie sur dalle était exclu pour cause de hauteur excessive. De plus, la géométrie très particulière du souterrain, avec un radier plus bas côté Est que côté Ouest, nécessitait une approche spécifique.

Le principe de la solution retenue a fait appel à un tapis résilient sous ballast, en portant une attention particulière à la hauteur occupée compte tenu du gabarit réduit. D'autre part, une dalle de béton armé épaisse a remplacé le plancher bas du bâtiment au-dessus du tunnel.

A l'occasion des travaux Castor [3], nécessitant une interruption totale des circulations entre Austerlitz et Invalides, les travaux ont été réalisés. Chaque voie a fait l'objet de deux semaines de travaux, au cours desquelles la voie ancienne a été déposée et le ballast retiré, puis le radier a fait l'objet d'un grattage destiné à éliminer toute protubérance. Un tapis résilient de type Sylomer 25B de la société Angst + Pfister a été mis en œuvre par collage sur le sol et la partie inférieure des parois du tunnel (figure 4).



Fig. 4 : Tapis résilient type Sylomer collé au sol et aux parois inférieures du tunnel

Au cours du suivi de chantier, de multiples précautions ont visé à prévenir l'intrusion de ballast entre les bandes de tapis résilient. A ces fins, les bandes étaient soudées entre elles, puis une mince couche de ballast était déversée afin de les stabiliser. Les parties verticales étaient alors collées, et un élément métallique en L inversé venait protéger le sommet des bandes contre la paroi. La pose de voie a pu alors commencer. Comme il n'était plus question d'une liaison rigide entre la voie et la structure du tunnel, un autre procédé a été utilisé pour tenter de stabiliser la voie : un soc en acier a été ajouté à l'extrémité de certaines traverses. Avant de rajouter du ballast, la distance entre soc et tapis résilient a été systématiquement vérifiée afin d'éviter des déchirures.

Enfin, une ultime vérification a porté sur l'absence de débordement du ballast au-dessus du niveau du tapis résilient. Le bourrage a été réalisé manuellement afin de ne pas déchirer le tapis résilient.

Au niveau de l'ouvrage en béton côté Austerlitz, les attaches de rail existantes ont été déposées et remplacées par des attaches résilientes Pandrol. Lors du suivi de chantier, on a également vérifié que le tapis résilient était bien posé le long de cet ouvrage afin de ne pas propager de vibration par cet élément.

Réception de l'ouvrage

A l'achèvement du projet, des mesurages de niveaux de pression acoustique et de niveaux de vitesse vibratoire ont été réalisés sur les planchers et parois du bâtiment au-dessus des voies, ainsi que sur la structure du tunnel. Les résultats de mesures ont mis en évidence que sur une durée de 15 s, correspondant au passage d'un convoi sous le bâtiment, les niveaux de vitesse vibratoire atteignaient en moyenne 75 dB dans le bâtiment, et 81 dB sur le plancher au-dessus du tunnel, atteignant 105 dB au niveau des structures du tunnel. Ces mesures ont également mis en évidence des niveaux de pression acoustique de 40 dB(A) sur une durée de 15 s dans les bureaux courants au-dessus du tunnel [2].

Les vérifications ont montré qu'il ne restait que 2 cm avant d'atteindre la limite de gabarit en hauteur.

Conclusions

De nombreuses contraintes (classement aux monuments historiques des façades de l'ancien bâtiment administratif du PO, durée limitée pour la réalisation des travaux de génie civil et de pose de voie, structure du bâtiment et du tunnel) n'ont pas permis de procéder de manière plus conventionnelle [5] en découplant la structure du bâtiment vis-à-vis des fondations, ou même plus simplement de réaliser une pose de voie sur dalle flottante.

De plus, les mesurages ont été assez difficiles à organiser, compte tenu du fort trafic ferroviaire sur le tronçon de ligne concerné et de l'environnement souvent perturbé du site.

Ce projet s'est avéré intéressant compte tenu des solutions particulières qu'il a fallu mettre en œuvre. Même si les résultats obtenus n'ont pas été aussi performants que ce qui était initialement espéré, ils étaient néanmoins satisfaisants. Il est clair qu'en vue d'obtenir des résultats optimaux, un suivi de chantier très vigilant est nécessaire.

Références bibliographiques

- [1] Y. Macheferat Tassin : Histoire de la traction électrique, tome 1. Editions La Vie du Rail, 1980
- [2] M. Asselineau, S. Mercier : Vibration control in a tunnel under an office rehabilitation project. Proceedings of CFA/DAGA'04 Strasbourg, pp1095-1096, SFA, 2004
- [3] SNCF : Grands Travaux Castor, brochure explicative, 1996
- [4] Angst + Pfister : Sylomer, documentation, 2009
- [5] M. Serra : Vibration control of buildings – case studies. Proceedings of ICSV14, paper 551, Cairns, IIAV, 2007
- [6] Pandrol : Product information VIPA, Addlestone, 2009