

Maintenance des tunnels ferroviaires

J.-C. DAUMARIE

INEXIA

Département des Tunnels
et Espaces souterrains
1, place aux Étoiles
93212 Saint-Denis-la Plaine
Cedex

Résumé

Le patrimoine des tunnels ferroviaires est important et ancien. La variété des contextes géographiques et géologiques doit être soulignée, mais aussi l'homogénéité des structures et des matériaux utilisés.

Le vieillissement des ouvrages trouve son origine dans l'évolution des terrains encaissants et des ouvrages eux-mêmes : structures et matériaux, l'eau jouant un rôle important. Ces ouvrages anciens font l'objet d'une identification détaillée basée sur des données d'archives avec relevés d'avaries.

Une surveillance systématique donne lieu à des diagnostics et conduit à des investigations spécifiques : auscultations de divers types. Des opérations de maintenance préventive ou corrective sont programmées, respectueuses des contraintes d'exploitation.

Mots-clés : tunnels ferroviaires, vieillissement, surveillance, maintenance.

Maintenance intervention in railway tunnels

Abstract

Patrimony of railway tunnels is important and old. Diversity of geographical and geological contexts are to be pointed out, and also heterogeneity of the used materials and structures. Growing old of tunnels is linked to evolution of surrounding ground and also to tunnels themselves: materials and structures. Water has a very important role.

These old tunnels are dealt with a detailed identification based on archives data, with damage's statement.

A systematic monitoring is based on diagnostics and leads to specific investigation: diverse types of auscultation. Preventive or corrective maintenance interventions are precast, adapted to operation conditions.

Key words: railway tunnels, ageing, monitoring, maintenance.

101

Le patrimoine des tunnels ferroviaires

Le patrimoine des tunnels ferroviaires se définit par quelques caractéristiques bien marquées.

1.1

Un patrimoine important

On compte plus de 1 500 tunnels ferroviaires, pour près de 600 km de longueur cumulée, dont plus de 1 300, représentant plus de 550 km de longueur, sont sur lignes exploitées. Il s'agit d'un des patrimoines les plus importants d'Europe, comparable aux patrimoines italien, suisse ou autrichien.

A titre de comparaison avec le patrimoine routier, on notera que les tunnels routiers en France sont au nombre d'environ 750 pour plus de 200 km de longueur cumulée.

1.2

Un patrimoine ancien

Les tunnels ferroviaires français ont, pour plus de la moitié d'entre eux, plus de 125 ans et pour près de 90 % plus de 85 ans.

1.3

Un patrimoine homogène mais aussi hétérogène

L'hétérogénéité du patrimoine tient en premier lieu dans la dispersion géographique des ouvrages. Les tunnels sont en effet répartis non seulement dans les zones montagneuses, multiples en France, mais aussi, du fait des contraintes techniques de tracé et profil en long ferroviaires, dans des zones moins tourmentées. D'autres ouvrages sont implantés en zones urbaines, pour répondre aux contraintes d'occupation de la surface.

De cette dispersion résultent de grandes variétés affectant les conditions géologiques et climatiques, mais aussi le choix des matériaux constitutifs des ouvrages.

Ces facteurs, en définitive, expliquent la variété des types d'ouvrage, en fonction des matériaux constitutifs, et la variété des vieillissements, en fonction de la nature des matériaux et des conditions géologiques et climatiques.

Mais le patrimoine comporte aussi des facteurs d'homogénéité : ils résident dans les dimensions relativement constantes, dans des formes similaires et dans des types de revêtement. Les constantes observées dans les dimensions et formes permettent une approche relativement constante des calculs de dimensionnement comme des analyses et une conduite relativement uniforme des études de maintenance. Les constantes dans les types de matériaux se traduisent également par des types d'avaries et des diagnostics relativement uniformes.

Le vieillissement du patrimoine

Il affecte évidemment aussi bien l'ouvrage lui-même que l'encaissant qui l'entoure, ce dernier influant sur le vieillissement de l'ouvrage en contribuant à l'accélérer.

2.1

Le vieillissement des structures du tunnel

Il affecte les liants comme les constituants principaux des maçonneries, briques ou moellons.

Il affecte aussi les bétons, tout particulièrement les premiers mis en œuvre, dont la composition et la fabrication étaient moins élaborées qu'aujourd'hui.

Les agents contribuant au vieillissement sont les actions chimiques, liées aux circulations d'eau, et les actions mécaniques, notamment les contraintes exercées sur les maçonneries par l'encaissant. L'eau intervient de différentes manières, mais constitue bien le facteur principal de vieillissement, que ce soit par son action chimique, ou par l'incidence mécanique de sa circulation.

2.2

L'évolution des terrains encaissants

Les grands types d'évolution des terrains encaissants sont : le gonflement, les dissolutions, les liquéfactions, notamment sous l'influence des circulations des trains, les diminutions progressives des propriétés mécaniques, ou les modifications de l'hydrologie.

2.3

Les conséquences du vieillissement

Elles se traduisent par diverses pathologies : la perte de résistance du revêtement, les tassements différentiels, les pertes d'étanchéité, les fissurations et dislocations, les modifications de géométrie.

La connaissance de l'état du patrimoine

La connaissance du patrimoine, fondamentale pour appliquer ensuite les mesures de réparation appropriées, passe par diverses actions, concourant à une bonne évaluation de l'état du patrimoine et de ses risques d'évolution.

3.1

Identification

Elle passe par la compilation et la conservation des données relatives à la construction de l'ouvrage, aux événements ayant pu l'affecter et à sa constitution. Elle comporte des données d'archives, non limitées donc à sa construction, et des données géométriques et structurelles.

Elle se concrétise par la constitution d'un dossier d'ouvrage comprenant :

- une fiche signalétique ;
- un relevé d'avaries ;
- les plans d'archives de construction ou de grandes interventions et tous documents se rapportant à ces époques ;
- les correspondances propres à l'ouvrage tout au long de son exploitation, incluant rapports, constats divers.

Les relevés d'avaries font l'objet de l'application informatique RADIS qui permet de prendre en compte, pour chaque ouvrage, les informations relatives à leur état, aux données des investigations et auscultations, aux zones de traitements déjà réalisés en les normalisant et en les rendant homogènes au niveau d'un même support, ce qui facilite leur consultation et leur interprétation.

3.2

Surveillance

Seule une politique de surveillance permet de déceler les évolutions de l'ouvrage et de décider des interventions de maintenance adaptées. Elle s'appuie sur la connaissance historique de l'ouvrage et comporte des actions systématiques, regroupées et décrites dans les instructions générales portées à la connaissance de tous les personnels impliqués dans la surveillance, aux niveaux local, régional et national.

On distingue notamment les actions suivantes :

- une surveillance régulière lors de tournées de lignes ;
- une surveillance spécifique programmée, comportant les visites annuelles, les inspections détaillées tous les six ans, les surveillances spéciales rapprochées pour les cas sensibles identifiés ;
- une surveillance spécifique non programmée dans le cas d'événements particuliers, tels qu'intempéries ou incidents.

3.3

Diagnostics

Établis dans le cadre de la surveillance, ils font appel non seulement aux données tirées des diverses visites, mais aussi aux investigations définies lors de cette surveillance. Les types d'investigations classiques sont utilisées : mesures topographiques, mesures géométriques, sondages de reconnaissance dans les terrains ou les revêtements pour bien les identifier et connaître leur comportement.

Mais on recourt le plus souvent possible à des investigations non destructives, souvent plus souples d'utilisation vis-à-vis des contraintes d'exploitation, et donnant une représentation plus continue que des sondages localisés. Ces investigations ont bénéficié des progrès en matière d'informatique permettant une compilation et un traitement rapide de données en grand nombre.

Parmi ces investigations, on relèvera les méthodes suivantes :

- les relevés vidéoscopiques ;
- les relevés en lumière visible ;

- les relevés thermographiques par scanner ou caméra infrarouge ;
- les procédés sismiques ou électriques ;
- la gravimétrie ;
- les relevés radar à impulsions temporelles (géoradar).

Le développement des investigations et auscultations non destructives a permis une connaissance plus complète des ouvrages et de leur environnement, et aussi une augmentation significative des longueurs d'ouvrages auscultées. Ceci facilite l'évaluation et la comparaison de l'état des ouvrages, base de l'évaluation du patrimoine.

3.4

Évaluation et cotation

La gestion et l'entretien d'un patrimoine ferroviaire comme celui du réseau français ont un coût très important. La maîtrise de celui-ci passe par une bonne connaissance de l'ensemble de ce patrimoine, de l'état des ouvrages les uns par rapport aux autres, afin d'affecter les montants de travaux là où ils sont nécessaires. Il est donc très important de pouvoir donner une cotation à chacun des ouvrages du réseau afin de pouvoir les classer.

Cette cotation est réalisée à la faveur des visites d'inspection détaillée, à l'aide de fiches concernant à la fois le constat de l'état et les facteurs ou indices d'évolution. Elle doit permettre, après traitement des données et intégration des facteurs d'évolution, de procéder à une approche probabiliste de l'aggravation des avaries et une simulation de l'état d'un ouvrage à un terme donné.

4

Maintenance : réparations et améliorations

4.1

Objectifs

Les opérations de maintenance doivent permettre aux ouvrages d'assurer, en tenant compte des désordres constatés, leurs deux fonctions principales :

- résister aux sollicitations du milieu environnant ;
- garantir un débouché sûr et reconnu.

Les principaux désordres constatés sont les suivants :

- déformation ou fissuration peu évolutive mais favorisant la circulation d'eau non captée ;
- déformations ou fissurations évolutives ;
- poussées des terrains entraînant des désordres ;
- altérations du revêtement entraînant des pertes de résistance mécanique ;
- chute de matériaux ;
- découverte de vide isolé.

La démarche doit aborder les questions suivantes :
- comment évolue l'association structures/terrains encaissants ?

- quelle est la géométrie exacte du tunnel ?
- comment se comportent l'eau en général et le système de drainage et assainissement ?

En réponse, et en fonction des buts poursuivis, plusieurs catégories de travaux sont envisageables :

- entretien courant ;
- maintien des capacités portantes du revêtement ;
- traitement des désordres irréversibles ou des poussées excessives des terrains.

4.2

Problématique

La mise au point d'interventions de maintenance dans un ouvrage souterrain doit prendre en compte deux contraintes fondamentales :

- assurer la sécurité des personnes et des circulations ;
- perturber le moins possible les circulations et la régularité de l'exploitation.

Pour le premier point, il est difficile de déterminer objectivement et d'une manière quantifiée le coefficient de sécurité. Chaque fois que des travaux risqueront de réduire ce coefficient, par exemple en cas de diminution temporaire de l'épaisseur du revêtement, ou de déchaussement des fondations de piédroits, il y aura lieu de prévoir des dispositions constructives permettant de compenser cette réduction.

4.3

Principes

On distingue deux grands principes de maintenance :

- la maintenance préventive, qui s'exerce essentiellement au niveau de la surveillance des ouvrages et des interventions limitées, au niveau des revêtements ou des systèmes d'écoulement et de drainage ;
- la maintenance corrective, qui intervient lorsque des anomalies ont été décelées dans une partie de l'ouvrage. C'est une intervention qui oblige, dans certains cas, à une programmation à court terme, sans avoir une bonne lisibilité des besoins dans un terme pluriannuel.

La perspective à obtenir est bien d'une programmation pluriannuelle avec fiabilité accrue, dont les facteurs de réussite sont les visites, bien entendu, mais aussi les investigations et les auscultations. Cette démarche permet ainsi, à partir des résultats obtenus et des analyses qui en sont faites, d'engager des actions plus généralisées sur des ouvrages aux caractéristiques bien ciblées dans un but préventif de plus en plus marqué.

4.4

Analyses de risques

Une politique de maintenance doit aussi s'appuyer sur une analyse des risques, résultat des observations, des retours d'expériences, des constats faits, en particulier lors de la survenance d'incidents. L'analyse des incidents permet, par exemple, un recensement et une évaluation des proportions de ces incidents en fonction de la nature des revêtements, que l'on se trouve dans des ouvrages non revêtus, revêtus en briques, en moellons, ou bien en fonction de leur localisation, en plate-forme ou en voûte.

Les programmations de régénération seront orientées vers les ouvrages à risques les plus importants selon l'analyse, c'est-à-dire, selon les résultats actuels et récents, dans les tunnels non revêtus et revêtus en briques.

4.5

Travaux principaux

On distingue les interventions en voûte et en piédroits de celles intéressant le radier et la plate-forme ferroviaire.

Parmi les interventions en voûte, on pourra envisager les injections d'extrados, le boulonnage, les bétons projetés, le renforcement par anneaux séparés, la reconstruction du revêtement, le chemisage du revêtement, la réfection d'étanchéité.

5

Conclusion

Une politique de maintenance d'un patrimoine aussi important que celui des tunnels ferroviaires est assujettie à diverses problématiques :

- la connaissance de tous les ouvrages, réactualisée par des actions de surveillance régulière ;
- l'évaluation comparative des états des ouvrages, permettant une programmation en fonction des situations ;
- une recherche d'anticipation permettant de privilégier la maintenance préventive plutôt que corrective ;
- la maîtrise des contraintes d'exploitation, fonction notamment des importances des trafics sur les lignes.

La combinaison de ces démarches permet la définition des interventions de maintenance sur l'ensemble du réseau en fonction des contraintes d'exploitation et des données de structures et de terrains, avec une programmation concourant à une gestion optimisée de ces travaux.