

**Zeitschrift:** Tracés : bulletin technique de la Suisse romande  
**Herausgeber:** Société suisse des ingénieurs et des architectes  
**Band:** 133 (2007)  
**Heft:** 11: Exploiter Alptransit

**Artikel:** Tester les installations de sécurité  
**Autor:** Hofstetter, Roland / Favre, Patrick / Mossi, Michele  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-99582>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

### **Conditions d'utilisation**

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. [Voir Informations légales.](#)

### **Terms of use**

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. [See Legal notice.](#)

**Download PDF:** 08.02.2025

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>**

# Tester les installations de sécurité

TUNNELS

**La ligne du Lötschberg est munie du système européen de signalisation en cabine (ETCS niveau 2) qui permet de transmettre toutes les informations dans la cabine du train sans recourir à des signaux latéraux. Les installations de sécurité pour les trains comprennent essentiellement la signalisation, la surveillance et les automatismes. La validation d'un tel système implique la réalisation de nombreux tests, qui constituent un passage obligatoire pour l'obtention d'une autorisation d'exploitation.**

La conception et le développement d'un système comme celui du tunnel de base du Lötschberg impliquent des processus itératifs, la description des exigences du système devenant toujours plus complète et complexe au fur et à mesure de l'avancement du projet. La norme Cenelec EN 50126 prévoit la validation d'un tel système avant sa mise en service. Les tests réels des installations de sécurité sont une des activités-clés de cette validation.

Ils forment, avec la validation par des experts indépendants et les analyses de risque, la base pour la preuve de sécurité soumise à l'Office Fédéral des Transports (OFT) pour obtenir une autorisation d'exploiter.

## Organisation et planification

Pour la ligne de base du Lötschberg (LBL), il est rapidement apparu que seule l'élaboration d'un programme très complet pour les tests permettrait de respecter la date de mise en exploitation commerciale, avec la fiabilité et le niveau de sécurité voulus. Ce programme a été conçu conjointement par le constructeur de l'installation et le futur exploitant. L'application de ce programme repose principalement sur trois groupes :

- Le groupe d'évaluation des tests est un comité d'experts fixant les domaines de test prioritaires. Ce comité donne son avis sur la façon dont un test est décrit par l'unité de spécification. C'est aussi lui qui, après l'exécution d'un test, juge si le comportement observé était correct et conforme aux attentes. Il est également compétent pour des questions techniques, tant avant qu'après l'exécution d'un test.
- Le groupe de spécification des tests réunit des ingénieurs chargés de décrire les tests selon les consignes du groupe d'évaluation. Comme les tests ne sont pas conduits par les ingénieurs qui les spécifient, les différentes étapes doivent être décrites de manière détaillée pour permettre une réalisation cohérente du test et une évaluation aussi précise que possible du système.
- Le groupe d'exécution des tests comprend du personnel qualifié, formé de manière spécifique pour la réalisation des tests. Ce sont des opérateurs desservant les installations de sécurité, des mécaniciens et des assistants de test. Le programme nécessitait en outre la mise en place d'installations de simulation et de test adéquates pour chaque phase de projet. Ces installations comprennent notamment :
  - un laboratoire chez le fournisseur des installations de sécurité (*Thales*, anciennement *Alcatel* à Zurich), doté d'un équipement similaire à celui installé dans le tunnel permettant des essais avec des trains simulés ;
  - la « halle aux containers » à Berne, pour tester les divers éléments de chaque équipement installé par la suite dans le tunnel ;
  - les voies de test à Dottikon, pour faire des tests fonction-

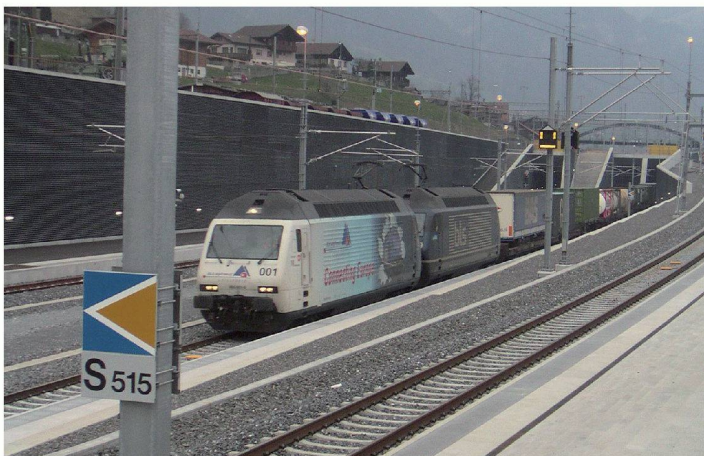


Fig. 1 : 17 mars 2007, premier train en service commercial ayant traversé le tunnel dans le cadre d'un test (Photo Roland Hofstetter)

Fig. 2 : Début de l'aiguille à grande vitesse pour la transition d'une à deux voies (Photo Thomas Andenmatten)

nels sur un tronçon d'essai représentant une « mini LBL », avant que le tunnel ne soit équipé;

– la LBL elle-même, à savoir le tunnel lui-même avec ses raccords au réseau existant.

La définition d'un planning de test très précis permettant la validation des installations de sécurité a été indispensable. Cette planification tient compte de contraintes comme l'état d'avancement du développement du système, les limites fonctionnelles des diverses installations de test et leur disponibilité, cette dernière étant directement liée à l'avancement des travaux de construction et d'équipement du tunnel. En effet, il faut être conscient que la phase de validation a débuté alors que le tunnel était encore en construction et que la totalité de la ligne n'a été entièrement disponible pour les tests les plus complexes qu'au cours des derniers six mois et demi précédant la mise en service.

Au cours de la phase de préparation, alors que le tunnel n'était pas entièrement disponible, on a cherché à éliminer un maximum de défauts afin de disposer d'un système aussi stable que possible pour les ultimes tests en vraie grandeur. Les tests avaient aussi été priorisés et classifiés en fonction de leur complexité et du temps de préparation nécessaire, tout en tenant compte de l'avancement du développement du système et de l'installation de test requise.

### Nouvelles fonctionnalités sur la ligne de base

En matière d'automatismes, la présence d'un tronçon à double voie dans une zone limitée et les objectifs de sécurité très ambitieux imposés pour la LBL par la législation ont conduit au développement de nouvelles fonctionnalités totalement inédites à ce jour.

Cela concerne notamment l'optimisation de la vitesse des trains en cas de conflit pour l'usage de la voie simple. Il s'agit de ralentir les trains de façon à éviter tout arrêt d'un train dans le tunnel tout en obtenant une vitesse maximale des trains au point de conflit. Cette optimisation, sur laquelle nous reviendrons par la suite, garantit non seulement une exploitation maximale du tronçon à voie unique, mais aussi de limiter le nombre de trains qui doivent s'arrêter dans le tunnel, ce qui conduit à un gain en matière de sécurité (risque que des passagers descendent dans le tunnel en cas d'arrêt du train), de stabilité d'horaire et d'économie d'énergie. Parallèlement, un système de surveillance de la vitesse des trains permet d'identifier le plus tôt possible d'éventuels problèmes.

On a également développé une fonctionnalité permettant d'évacuer tous les trains du tunnel en cas d'accident majeur. Face à une telle situation, le système calcule de lui-même un

plan optimal d'évacuation et commande automatiquement la signalisation correspondante, permettant ainsi au mécanicien de rester dans la même cabine, même si l'évacuation doit se faire en marche arrière.

### Tests complexes

Une optimisation du débit du trafic assistée par des automatismes avait déjà été étudiée dans le cadre d'autres projets en Suisse, mais avec une signalisation latérale traditionnelle (par exemple dans la région d'Olten). Les tests réalisés ont toutefois montré que, sans investissements majeurs dans l'infrastructure, le problème est très complexe, notamment en raison d'une dynamique de parcours des trains difficilement prévisible et de possibilités d'intervention limitées.

Bien que certaines difficultés liées à la connaissance de la dynamique de parcours persistent, la signalisation en cabine (ETCS niveau 2) se prête mieux à l'implémentation d'une telle fonctionnalité : on dispose en effet en temps réel de la position et de la vitesse des trains et le système de signalisation





Fig. 3 : Tunnel de base du Lötschberg (Photo Thomas Andenmatten)

peut transmettre des instructions aux trains à chaque instant. Cette implémentation requiert toutefois la prise en compte de la dynamique réelle des trains par un choix de paramètres pertinents. Ces paramètres sont choisis de façon à simuler au mieux les capacités réelles des trains en matière d'accélération et de freinage. L'optimisation des vitesses se fait par minimisation du retard cumulé, en tenant compte de ces paramètres et de critères d'exploitation comme par exemple la priorisation des trains voyageurs sur les trains marchandises.

Après la spécification et le développement de cette nouvelle fonctionnalité, le fournisseur a procédé à un grand nombre de tests à partir de simulations en laboratoire, pour affiner l'algorithme de base. Les « vrais » tests et la mise au point de cette fonctionnalité n'ont pu avoir lieu que pendant les six derniers mois, sur la ligne de base du Lötschberg.

Pour pouvoir tester de manière efficace une fonctionnalité d'une telle complexité, les autres fonctionnalités doivent avoir acquis une stabilité suffisante. Il faut en effet savoir que de tels tests sont très coûteux par le fait que plusieurs trains et un nombre considérable de spécialistes sont requis. Contrairement aux tests simples, dont les événements sont assez prévisibles, ceci n'est plus forcément le cas quand le nombre de trains augmente, la dynamique de parcours devenant alors plus importante. La base du test n'est plus alors une spécification détaillée, mais peut se réduire au respect d'un horaire graphique dans lequel des conflits ont été intégrés. La présence d'imprévus, notamment dans la dynamique de parcours, rend ces tests particulièrement réalistes et bénéfiques, puisqu'ils simulent des situations correspondant à une véritable exploitation commerciale.

La préparation de ces tests peut requérir plus d'une année, pas seulement à cause de la nécessité de disposer d'un nombre important de matériel roulant (trains de tous les types et poids), mais aussi à cause du nombre d'unités impliquées.

Plusieurs autres grands tests ont eu lieu : un test d'horaire type, des tests d'évacuation, des tests des procédures de maintenance ainsi que de nombreux tests de réaction aux défaillances de sous-systèmes. Un test spectaculaire impliquant 35 trains a été exécuté afin de pouvoir s'assurer que le fait d'atteindre la limite de la capacité pour laquelle le système a été conçu, à savoir 30 trains annoncés, ne mène pas à une instabilité du système.

#### Avant la mise en exploitation complète

Alors que la majorité des tests fonctionnels a été effectuée au moins une fois, la période entre la mise en service du 15 juin et le changement d'horaire prévu le 9 décembre 2007 aura comme but principal d'éprouver le système et d'entraîner le personnel sous des conditions d'exploitation réelles. A cette fin, le tunnel sera exploité pendant 18 heures par jour. Il sera principalement parcouru par des trains de marchandises en service commercial. Les heures restantes serviront à l'entretien, à des tests d'autorisation d'exploitation des différents types de véhicules sur la ligne, à des tests de régression et à des tests supplémentaires pour exploiter la ligne avec des vitesses jusqu'à 250 km/h.

Cette première phase d'exploitation est très importante pour atteindre un nombre suffisant de passages de trains, afin d'identifier des vulnérabilités ou des défaillances qui ne se manifestent que sous des conditions très particulières et pour disposer de données suffisantes pour évaluer statistiquement la disponibilité et la fiabilité du système. Jusqu'en décembre 2007, plus de 10 000 passages de train auront eu lieu sur la ligne de base du Lötschberg.

La mise en service du 15 juin signifie également que le tunnel sera maintenant exploité sous la responsabilité de *BLS SA* et non plus sous celle de *BLS Alptransit*. Une permission d'exploitation pour une vitesse jusqu'à 200 km/h a été demandée pour cette date, une première suisse. Cette permission est plus qu'un simple jalon : c'est aussi la preuve que les délais initiaux ont pu être tenus et qu'à l'heure actuelle plus rien ne paraît compromettre la mise en exploitation complète pour le changement d'horaire de décembre 2007.



Roland Hofstetter, ing. méc. EPF  
Patrick Favre, ing. él. EPF  
Michele Mossi, ing. phys. EPF  
GESTE Engineering SA  
EPFL, PSE-C, CH – 1015 Lausanne