

# Couverture des voies CFF à St-Jean: structures du génie civil et influence du concept de sécurité

Autor(en): **Boissonnard, Robert / Moïa, Pierre / Uldry, Claude**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Tracés : bulletin technique de la Suisse romande**

Band (Jahr): **128 (2002)**

Heft 18: **Au-dessus des voies**

PDF erstellt am: **21.09.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-80306>

## **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

## **Haftungsausschluss**

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

# Couverture des voies CFF à St-Jean: structures du génie civil et influence du concept de sécurité

Lors de la réalisation, entre 1982 et 1986, de la ligne ferroviaire reliant la gare de Cornavin à celle de l'aéroport<sup>1</sup>, la Ville de Genève avait fait étudier la possibilité de couvrir les voies CFF entre le pont des Délices et celui des Sports. Durant les travaux, des mesures conservatoires avaient donc été prévues pour accommoder les charges de structures et d'aménagement liées à une telle couverture.

Après la mise en service du raccordement ferré Cornavin - Aéroport et en raison d'un important trafic supplémentaire, la Ville de Genève a décidé en 1988 de réaliser cette couverture du pont des Délices à l'avenue d'Aïre. Dans le même temps, un crédit était voté pour étudier l'aménagement des surfaces créées par l'ouvrage et le comblement des talus sur le domaine CFF, la surface récupérée par la Ville correspondant à quelque 29 000 m<sup>2</sup> assortis d'un droit de superficie pour une durée de 85 ans. S'étendant sur une longueur de 815 m, la couverture a été subdivisée en plusieurs tronçons (fig. 1):

- tronçon I: Pont des Délices - Pont Miléant (384 m)
- tronçon IIA: Pont Miléant - Aqueduc CFF - Tunnel CFF (130 m)
- tronçon IIB: Aqueduc CFF - Pont Gallatin (125 m)
- tronçon III: Pont Gallatin - Pont avenue d'Aïre (176 m).

Le présent article aborde les éléments qui ont constitué les principales difficultés de cette réalisation, soit le concept de sécurité à définir pour l'ouvrage, ainsi que les exigences liées à un chantier en zone urbaine avec des contraintes propres à l'exploitation ferroviaire. Il n'entre en revanche pas dans le détail des problèmes relatifs aux vibrations, au bruit, à la mise à terre des structures et à l'alimentation électrique, qui ont été résolus par le groupe d'ingénieurs en collaboration avec des spécialistes.

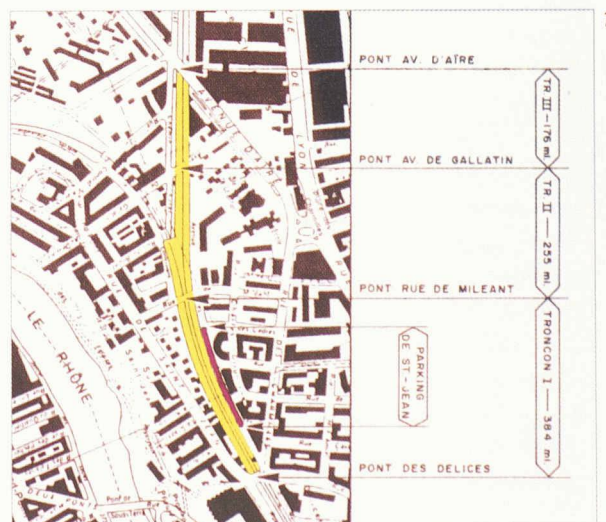
<sup>1</sup> /IAS N° 6/1987

## Variantes et concept final

Jusqu'à l'adoption de la solution finalement réalisée, la structure d'ensemble et la conception des dalles ont fait l'objet de plusieurs variantes. Cette série d'études est essentiellement due au fait que la conception de la structure a débuté sans que le programme d'utilisation de la couverture n'ait été défini, tandis que le concept de sécurité était élaboré en parallèle à la mise au point des structures et à la mise en soumission. Les choix finalement arrêtés sont par ailleurs largement tributaires des contraintes liées à la conservation des talus remblayés et de celles relevant du concept de sécurité.

Au final, la réalisation a été soumise aux exigences suivantes:

- espace de réserve pour une voie CFF supplémentaire entre le pont des Délices et le tunnel de la Praille,
- gabarit minimum sous la couverture variant entre 6,00 et 7,50 m selon les tronçons,
- talus libres de constructions afin de conserver la possibilité de planter des arbres,
- charges utiles sur la dalle de 20 KN/m<sup>2</sup> à 35 KN/m<sup>2</sup> selon les zones (pour constructions légères ou arborisation),
- démolition des ponts de Miléant et de Gallatin et remplacement par la structure de la couverture,



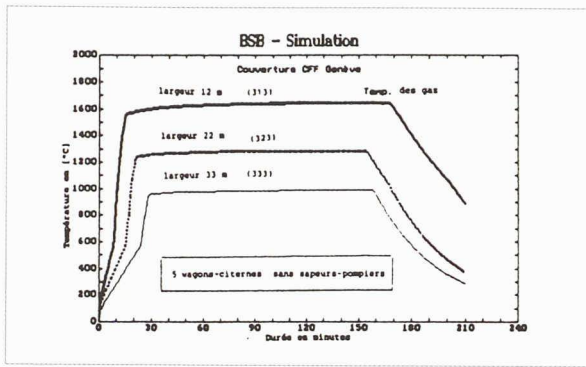


Fig. 1: Plan de situation et tronçons (Document: Ville de Genève)

Fig. 2: Courbes température-temps pour cinq wagons citernes en flammes dans la galerie (Document: Geillinger)

- raccords aux extrémités sur les ponts existants des Délices et de l'avenue d'Aire en tenant compte du niveau des chaussées,
- réservation de caniveaux pour le passage des conduites des services publics à différents endroits de la couverture,
- concept de sécurité (voir ci-après).

La structure générale de la couverture est un cadre, partiellement encastré dans le sol par des parois moulées ou des barrettes et articulé aux appuis des poutres. Les éléments porteurs présentent une conception variable selon les tronçons, en fonction des charges prévues et des besoins en pistes d'accès pour la réalisation des dalles.

Essentiellement dictée par les exigences liées au concept de sécurité et à la protection incendie, la structure de la dalle a été développée par l'ensemble des bureaux d'ingénieurs impliqués. Elle est constituée de poutres préfabriquées précontraintes en forme de H, avec un dessous de poutres formant un plafond plat protégé contre le feu et un surbéton coulé qui joue le rôle de dalle de compression. Les dimensions et entre-axes des poutres ont été adaptés selon les portées et les charges, tandis que dans les zones de raccordement aux ouvrages existants (ponts des Délices et de l'avenue d'Aire), les éléments en béton précontraint ont été remplacés par des poutres surbaissées de type *Preflex* (poutre pré-fléchie).

### Concept de sécurité

S'appuyant sur l'expérience du saut de mouton<sup>2</sup> et d'accidents importants survenus dans le domaine CFF, les ingénieurs chargés d'étudier la couverture des voies à St-Jean ont rapidement proposé le développement d'un concept de sécurité lié à un incendie sous la dalle. En l'absence de norme ou de cahiers des charges relatifs aux incendies dans les tunnels, ils ont dû élaborer une solution englobant l'ensemble des mesures de protection des personnes et des structures.

Face à ce problème très complexe, ils se sont tournés vers le département «Construire à l'épreuve du feu» de l'entreprise *Geillinger*, représenté par Monsieur M. Fontana, et vers Monsieur J.-P. Favre, ingénieur civil, expert en protection incendie. La Ville de Genève, les CFF et le Service d'Intervention et de Sécurité de la Ville de Genève (SIS) ont également collaboré à l'élaboration de ce concept.

L'étude globale du concept de sécurité a permis de définir les risques d'incendie et les charges thermiques pouvant en résulter, le contrôle et l'alarme feu, les mesures d'évacuation des personnes, les moyens et les délais d'intervention, le type de structure et de protection. Il a permis d'adapter la structure aux risques répertoriés, d'améliorer la sécurité des usagers du train par l'ajout de cheminements et de sorties de

secours, et d'assurer une bonne utilisation de la dalle de couverture. L'étude n'a par contre pas pris en compte les risques d'explosion (gaz liquéfiés).

### Types d'incendie possibles dans la galerie CFF et calcul des températures extrêmes

Basée sur une analyse des incendies survenus dans des tunnels ferroviaires ou à ciel ouvert, la charge thermique qui a été retenue pour un incendie catastrophe implique cinq wagons citernes de kérosène (avec 50% de liquide participant à la combustion). Dans les tronçons IIB et III, cette charge a été réduite à un wagon de kérosène compte tenu du fait que les trains de marchandises ne passent pas par ces secteurs.

Les dégâts que pourrait subir la structure en cas d'incendie ont été admis comme acceptables pour autant que l'on puisse assurer:

- sa remise en état après incendie, sans interruption gênante du trafic,
- son aptitude au service après la remise en état,
- la limitation de certaines déformations permanentes des éléments porteurs.

L'entreprise *Geillinger* a effectué une simulation mathématique des incendies en tenant compte de la géométrie de la galerie à réaliser (fig. 2). Ces calculs ont permis de déterminer les températures extrêmes en fonction des largeurs de la galerie (1280°C et 980°C pour respectivement 22 m et 33 m, durant 180 minutes sans intervention des pompiers).

Etude et calculs ont débouché sur un concept de protection incendie englobant des mesures de sécurité aussi bien constructives, que techniques et organisationnelles. Le cas d'incendie a été considéré comme un cas de charge accidentel au sens de la norme SIA 160.

### Contrôle du feu et transmission de l'alarme

La transmission rapide de l'alarme incendie est capitale pour maîtriser le développement du feu. Aucune détection automatique ne pouvait toutefois être envisagée dans la galerie de la couverture. Des contraintes d'exploitation ne permettent en effet pas l'installation de systèmes de détection de chaleur ou de fumée, tandis que des caméras se révéleraient inefficaces en présence de fumée et en l'absence d'un suivi en continu des images retransmises, suivi que les CFF auraient dû assurer au centre de contrôle de la gare de Cornavin.

<sup>2</sup> Le saut de mouton permet à la ligne SNCF allant en direction de Bellegarde de passer sous les voies CFF.



L'alarme peut donc être transmise par les chefs de trains, équipés de radios, ou par le biais des téléphones reliés au centre de contrôle CFF et installés à chaque sortie de secours.

### Mesures pour l'évacuation des personnes

Le long des voies, des cheminements piétonniers ont été aménagés au niveau du ballast pour atteindre les sorties de secours: un éclairage bas et une main courante en bois permettent de cheminer sans visibilité en cas de fumée.

Ces cheminements mènent à huit sorties de secours, situées de part et d'autre de la couverture, soit à une issue tous les 120 m environ. Généreusement dimensionnés, ces accès sont également destinés à faciliter les secours: les escaliers offrent une largeur minimale de 1,50 m avec des paliers de 2,50 m qui permettent de tourner avec des brancards. Au niveau inférieur, un sas a été prévu pour l'entreposage de civières.

### Délais et moyens d'intervention

Un plan d'urgence assurant la maîtrise de tout accident grave dans la galerie de St-Jean a dû être élaboré d'entente entre les CFF et le SIS. Il fixe notamment des directives pour le tractage hors de la zone de danger des wagons ou parties de trains restés sur les voies.

Un plan d'intervention définit en outre:

- le délai d'intervention du SIS,
- le temps nécessaire aux CFF pour transmettre la composition du train et les matériaux transportés,
- les modalités de coupure du courant et mise à terre,
- les exigences de connaissance des lieux et accès,
- le matériel à mettre en œuvre en fonction des feux,
- les moyens sanitaires disponibles et les accès,
- un schéma de circulation, d'accès et d'évacuation.

Des moyens d'intervention fixes ont été installés lors des travaux: il s'agit de colonnes sèches équipées, au niveau des voies, de prises permettant un raccord à chaque sortie de secours et d'un moyen d'aspersion de type *Hydroschild* pouvant être mis en service manuellement par le SIS après accord avec les CFF. Ce système est principalement destiné à refroidir les structures afin de limiter les dégâts causés par un incendie. Pour d'évidentes raisons de sécurité du trafic et de protection électrique, il va de soi que toute intervention au niveau des voies demeure soumise à l'accord préalable des CFF.

### Protection de la structure et résistance au feu

Les températures très élevées susceptibles d'être atteintes sous la dalle ont dicté l'option d'une structure à plafond plat protégé contre le feu.

Les exigences de protection étaient les suivantes:

- tenue du produit de protection incendie à une température minimale de 1250°C, avec une montée de température rapide en quelques minutes et une durée de 180 minutes (courbe RWS),
- température inférieure à 300°C entre l'isolation et le béton, après 180 minutes,
- température d'environ 150°C à 50 mm de la surface du béton, au niveau des fils adhérents précontraints.

Après de nombreux essais effectués dans un four à Delft, en Hollande, le choix s'est porté sur une protection avec deux plaques de *Promatec H* (ancienne composition chimique) représentant une épaisseur de 40 mm. Les joints entre les éléments ont été fermés par une bande de fibres *Cerablanet* (fig. 3 et 4). D'autres produits répondant également aux exigences énumérées ont été écartés sur des critères de résistance mécanique, de tenue à l'humidité ou de délais de mise en œuvre.

Le cas d'incendie a abouti à la modification de la forme des poutres préfabriquées avec des ailes inférieures jointives protégées par une isolation thermique. De même, il a conduit à adopter une précontrainte répartie entre des fils adhérents et des câbles, ces derniers étant mieux protégés de la chaleur à l'intérieur du béton, tandis que la couverture des aciers était augmentée.

Les dilatations des poutres, qui ont été analysées pour chaque tronçon et type de structure, ont motivé l'adaptation des appuis et de certains éléments porteurs (à l'exemple du tronçon I décrit ci-dessous). Il a également été tenu compte d'éventuels éclatements du béton sur les murs porteurs en adaptant et en protégeant mieux l'armature.

### Résumé de l'étude et de la mise en œuvre de la protection incendie sur le tronçon I

Le concept de protection incendie défini dans sa généralité pour tous les tronçons a abouti au cas de charge d'«incendie non normalisé». Selon les zones concernées, les effets de ce dernier se traduisent par des différences de calcul en fonction de la longueur des poutres (dilatation), de leur hauteur (rotation), des caractéristiques géotechniques du terrain (absorption des déformations) et de la rigidité des parois.

Sur le tronçon I, une température sous dalle légèrement supérieure à celle calculée par les simulations informatiques a été définie et un calcul théorique de pénétration de température - validé sur les essais effectués à Delft - a été réalisé (fig. 5).

Le calcul de la dilatation et de la rotation des poutres, compte tenu de la diminution du module d'élasticité du

Fig. 3: Essai de mise en place des joints entre les poutres

Fig. 4: Coupes types des poutres principales

Fig. 5: Pénétration des températures dans l'aile inférieure des poutres

Fig. 6: Détail de l'appui des poutres (Tronçon I)

béton sous l'effet de la température, a permis d'estimer une déformation verticale de 82 mm et un allongement (effet de rotation de la dalle compris) de 12 mm à chaque appui. Ces déformations imposées induisent une réaction horizontale  $R_c$  (catastrophe incendie) en haut des parois moulées qui varie passablement selon les tronçons: des augmentations de 55 à 120 % ont ainsi été calculées en fonction de la rigidité des parois, des caractéristiques géotechniques du terrain et de la souplesse des appuis néoprène.

Afin d'absorber une partie des déformations horizontales (entre 12 et 22%) et de diminuer de la sorte la réaction  $R_c$ , l'épaisseur des appuis néoprène a été augmentée. La réaction  $R_c$  restante conduit dès lors à une augmentation de 30% à 40% des efforts de flexion dans les parois moulées par rapport à l'état de service.

Pour la vérification structurelle des éléments porteurs, le critère de dimensionnement des armatures passives et de précontrainte correspondant aux termes REI 180 de l'Eurocode 2 a été appliqué<sup>3</sup>:

$$Ed,fi(t) < Rd,fi(t) \text{ avec } t = 180 \text{ min}$$

où  $Ed,fi(t)$ : valeur de calcul de l'effet des actions en situation d'incendie

$Rd,fi(t)$ : capacité portante de calcul (résistance) en situation d'incendie

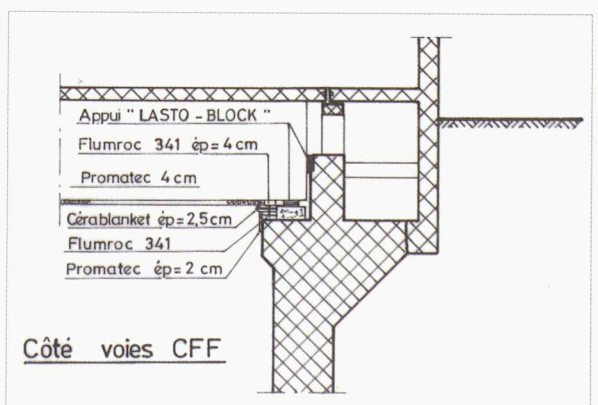
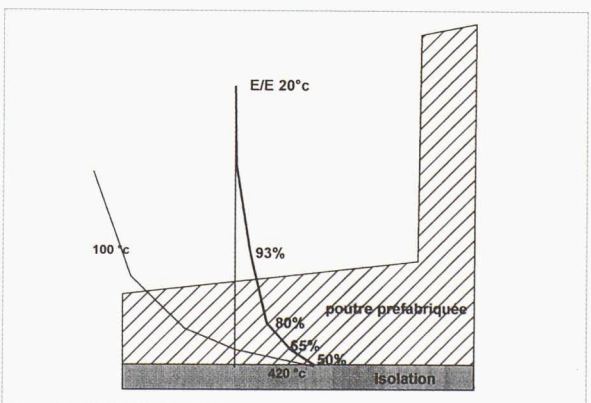
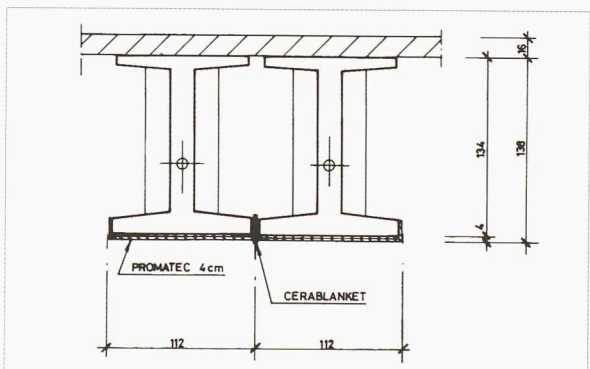
$t$ : durée de la situation d'incendie.

Les parois moulées ont été dimensionnées en fonction de la pénétration de la température et de la position des armatures. Des vérifications *in situ* du recouvrement des aciers ont été effectuées par un laboratoire. Une des zones les plus sensibles des parois se trouvant en tête de celles-ci, au droit des appuis, il a été décidé de la protéger avec le même matériau que pour les éléments précontraints formant la dalle de couverture (fig. 6).

Pour le tronçon I de la couverture des voies CFF à St-Jean, le cas de charge accidentel de l'incendie non normalisé (paramétré) a ainsi conduit à revoir le dimensionnement des éléments d'ouvrage suivants:

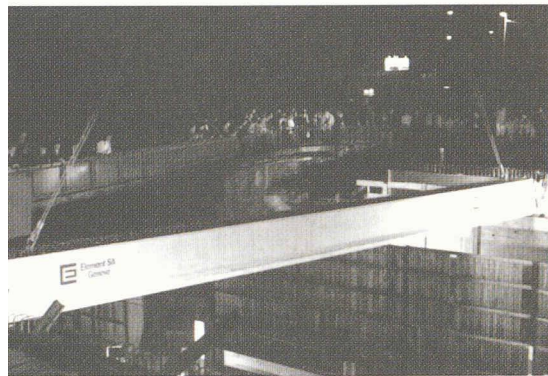
- armatures passives et de précontrainte des poutres préfabriquées,
- armatures de quelques éléments de paroi moulée,
- appuis néoprène, (surface augmentée et épaisseur doublée).

Il est donc intéressant de noter qu'outre les éléments directement soumis à l'incendie, des renforcements ou modifica-

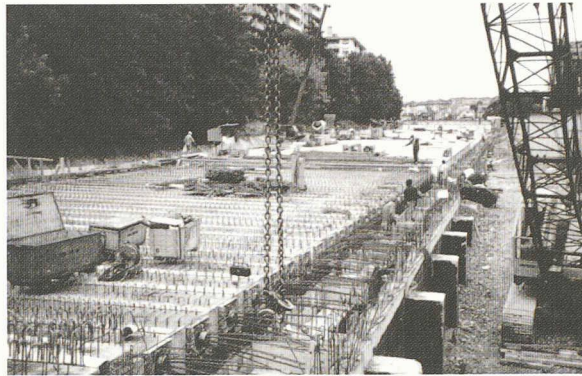


<sup>3</sup> Partie 1-2 «Calcul du comportement au feu»





7



8



9

tions touchent aussi ceux liés aux déformations engendrées par les porteurs exposés aux températures les plus élevées. Et il est important de souligner la bonne concordance entre la simulation par ordinateur et les mesures observées lors des essais en laboratoire.

### Réalisation

Pour la dalle de couverture, une conception commune de l'ouvrage a été développée en tenant compte des études au feu, du système statique de l'ensemble - en cadre articulé - et des galeries de contrôle des appuis horizontaux et verticaux pour les poutres. Pour les porteurs verticaux, chaque bureau a développé un système en fonction de la qualité des terrains en place, des accès à disposition pour la réalisation et la pose des poutres, ainsi que des structures déjà réalisées au moment de la construction de la ligne Genève-Aéroport.

Pour le reste, ce sont le milieu urbain et l'environnement CFF qui ont rendu ce chantier difficile mais passionnant. Aucune perturbation importante du trafic n'ayant été admise, cela impliquait la mise en place de protections importantes le long des voies et un travail de nuit pour tous les travaux effectués en dessus du domaine CFF, notamment la pose des poutres préfabriquées (fig. 7).

### Conception commune

Les dalles ont été conçues pour accueillir des constructions légères et des aménagements urbains qui ont fait l'objet d'un concours d'architecture. Un cahier des charges particulier a été élaboré à l'intention des concurrents, afin de garantir au maître de l'ouvrage une occupation parfaitement sûre des espaces ainsi reconstitués. La charge admise de 35 KN/m<sup>2</sup> permet la réalisation de bâtiments de trois étages environ, et elle se réduit à 20 KN/m<sup>2</sup> ou à la charge roulante fixée par les normes SIA aux passages des routes.

Avec des hauteurs et des entre-axes adaptés selon les charges et les portées, les poutres précontraintes par fils adhérents et par câbles ont été réalisées en atelier, puis transportées et mises en place sur le chantier à l'aide de grues mobiles (fig. 8). Leur hauteur varie entre 84 et 134 cm alors

que la dalle de compression, coulée sur le chantier, présente une épaisseur constante de 16 cm. Les poutres reposent sur des appuis en néoprène pour reprendre les efforts verticaux et horizontaux. Des joints longitudinaux séparent la dalle de couverture des galeries de visite disposées latéralement de chaque côté de l'ouvrage, tandis que des joints transversaux réguliers ont été réalisés tous les 30 à 40 m environ.

Dans les zones de raccordement, autour des ponts des Délices et d'Aire, le recours à des poutres surbaissées de type *Preflex*, d'un coût plus élevé que les poutres précontraintes, a facilité l'adaptation aux niveaux des chaussées et aux gabarits CFF.

Quant à la solution d'étanchéité, elle a été développée avec l'aide du bureau de conseils Balzan et Girard. L'usage final de la surface n'étant pas défini et compte tenu de modifications encore probables à plus long terme, il fallait une réponse pouvant convenir à n'importe quelle situation. Dans ce contexte, le choix s'est porté sur la mise en place d'un lé d'étanchéité complété par deux couches d'asphalte. Plus onéreuse dans un premier temps, cette solution a permis de réaliser des économies lors de l'aménagement des bâtiments, de même qu'elle a fait ses preuves malgré une importante circulation d'engins de chantier.

### Points particuliers selon les tronçons

#### Tronçon I

Ce tronçon présente une largeur constante de 22,50 m. Les appuis verticaux sont constitués de barrettes de paroi moulée de 80 cm d'épaisseur, fondées en profondeur dans le sol morainique. L'espace d'environ 1,60 m entre ces éléments a été rempli avec 20 cm de béton projeté, après un drainage préalable réalisé sur la face contre terre.

Avec des hauteurs libres avoisinant les 7 m, un encastrement des culées pour les rendre auto-stables aurait été onéreux, ce qui a impliqué de procéder au remblayage simultané des deux côtés de la couverture. A noter qu'en cours de travaux, la Fondation des Parkings a réalisé un parking souterrain mitoyen avec une des culées de la dalle de couvertu-



Fig. 7: Pose des poutres de nuit (Tronçon IIA)

Fig. 8: Poutres précontraintes posées (Tronçon IIB)

Fig. 9: Construction du bâtiment triangulaire à la déviation des lignes CFF (Tronçon IIA)

Fig. 10: Coupes types de la structure (Tronçon III)

re sur environ 200 m. Les efforts à prendre en compte ainsi que l'organisation du travail sur place ont dû être adaptés à cette situation.

La précontrainte, dont les CFF ont exigé qu'elle soit totale, a été réalisée par des fils adhérents mis en tension en usine (env. 45 % de la précontrainte totale), puis par la mise en tension d'un câble sur le chantier. Cette seconde opération a été réalisée en deux phases de manière à éviter des discontinuités de déformation et des efforts différentiels locaux trop importants.

Les poutres «Préflex» et les poutres précontraintes de la première tranche de dalle ont été posées à l'aide d'une grue fixe stationnée en bord de couverture. Les poutres suivantes ont ensuite été posées à l'avancement avec deux grues circulant sur les éléments déjà en place, ces derniers étant renforcés au droit des zones de roulement.

#### Tronçon IIA

Sur ce tronçon, l'ouvrage a dû s'adapter à la géométrie variable des voies CFF (bifurcation vers la gare de la Praille via le tunnel de St-Jean) et la dalle de couverture comporte deux zones très différentes séparées entre elles par une dénivellation de 50 cm:

- la zone de la bifurcation de St-Jean,
- la zone de grandes portées des poutres (jusqu'à 40 m).

Au centre de la première zone, un bâtiment triangulaire (fig. 9), servant d'appui intermédiaire à la structure, comporte les aménagements suivants:

- un niveau aménagé par la Ville de Genève en dessous de la dalle de couverture, accessible par un escalier et disposant d'un monte-charge,
- un niveau technique appelé «bâtiment de service CFF» (BS) destiné à l'usage exclusif des CFF - celui-ci devait rester en fonction pendant les travaux ce qui a impliqué de nombreuses phases de démolition et de reconstruction,
- un escalier de secours en cas d'incident dans le tunnel.

Pour la mise en place des poutres de la couverture, le pont Miléant, constitué d'une voûte en pierres, a dû être démoli; un travail délicat qui a été réalisé sans modification du schéma d'exploitation des CFF.

Les culées de l'ouvrage sont constituées par des parois moulées de 60 à 80 cm d'épaisseur s'appuyant en profondeur sur un sol morainique. Elles sont reliées en partie supérieure par un sommier de raidissement dont la forme est inspirée de celle d'une culée de pont. Dans la partie de la bifurcation, la dalle est liée de façon monolithique à la structure d'appui pour offrir la résistance nécessaire aux effets combinés d'un choc ferroviaire avec incendie.

#### Tronçons IIB et III

La particularité de ces tronçons tient surtout à une géométrie et une structure de largeur très variables en fonction de la traversée sous les voies de la structure du saut de mouton sur laquelle la couverture prend appui (fig. 10)

Il a également fallu créer une zone de raccordement vers le pont d'Aire avec des poutres de type *Preflex* placées en éventail, démolir et reconstruire l'aqueduc pour les eaux usées - qui passe au-dessus des voies, mais sous la dalle de la couverture - enfin, démolir le pont Gallatin et le remplacer par la dalle de la couverture. La partie centrale de ce pont a

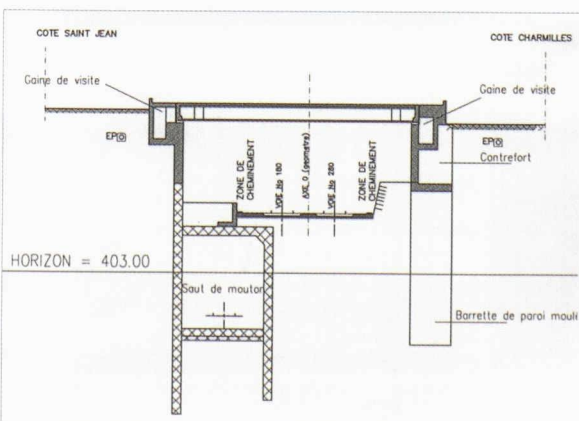
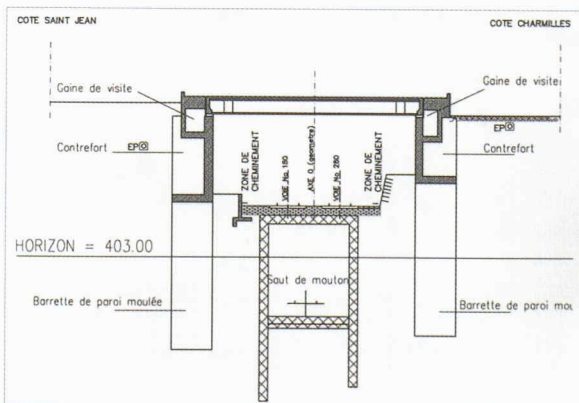
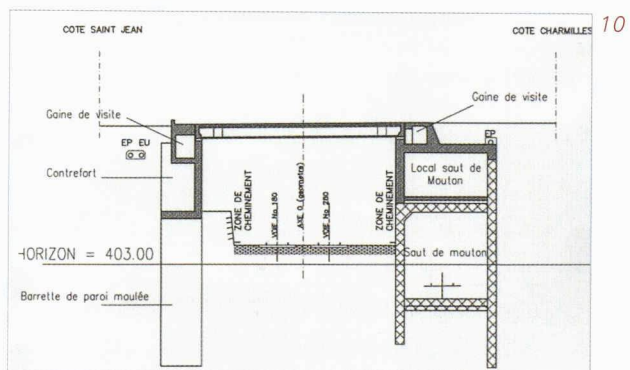


Fig. 11: Démolition du pont Gallatin; enlèvement d'un bloc de la dalle du pont (Tronçon IIA)

Fig. 12: Local sur le saut de mouton (Tronçon IIA)

Fig. 13: Accès au chantier (Tronçon IIB)

(Tous les documents illustrant cet article ont été fournis par les auteurs)



été sciée et enlevée de nuit (fig. 11) après la mise en place d'un étaillage appuyé latéralement. Le reste de l'ouvrage a été démolé de jour sur le chantier.

Les murs d'appui sont constitués, soit d'une prolongation de la structure du saut de mouton, soit d'un nouveau mur à contrefort dans le talus. Ce dernier, fondé sur des barrettes de parois moulées espacées d'environ 4 m, permet de reprendre la poussée des terres et la charge des grues mobiles utilisées pour la mise en place des poutres. Les barrettes des parois moulées, réalisées depuis le niveau inférieur du terrassement qui correspond environ au niveau des voies CFF, ont été creusées dans des terrains de bonne qualité en limons argileux semi-consolidés à consolidés.

Pour ne pas charger d'une manière importante la structure du saut de mouton avec du remblai, il a été décidé de récupérer le volume pour un local accessible avec un monte-charge depuis la zone de Gallatin (fig. 12).

Le peu de place disponible pour les accès au chantier a fortement conditionné l'organisation et la planification des travaux (fig. 13). Des rampes sur le domaine CFF ont été réalisées pour chaque tronçon et de chaque côté des voies. Elles ont demandé des blindages avec des plaques ancrées pour garantir le gabarit de passage des engins de chantier nécessaires.

## Conclusion

Un accident ferroviaire dans une galerie constitue un événement impliquant des incidences graves, tant matérielles qu'humaines. En l'absence de normes ou de directives claires, il nous a donc paru indispensable d'élaborer un concept de sécurité pour cet ouvrage particulier. Cela a permis de répertorier les risques et d'adopter toutes les mesures techniques et constructives propres à faire évoluer le projet et à augmenter la sécurité à tous les niveaux. Cela a également montré que le cas d'incendie est important et ne permet pas n'importe quelle variante structurelle.

Le travail a été mené de concert avec tous les intervenants engagés dans le projet, notamment la Ville de Genève - maître de l'ouvrage - et les CFF que nous tenons à remercier ici de leur collaboration.

Robert Boissonnard, Mouchet Dubois Boissonnard SA  
Chemin de la Vendée 27, CH - 1213 Petit-Lancy

Pierre Moïa, Tremblet SA  
Quai du Seujet 18, CH - 1201 Genève

Claude Uldry, Ott B. et Uldry C. Sàrl (Succr de F. Herrera)  
Avenue Adrien-Jeandin 31, CH - 1226 Thônex