Zeitschrift: Tracés : bulletin technique de la Suisse romande
Herausgeber: Société suisse des ingénieurs et des architectes
Band: 130 (2004)
Heft: 22: Lausanne underground

Artikel: A travers les piles du pont Bessières
Autor: Bisetti, Aldo
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-99350

Nutzungsbedingungen
Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. 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. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

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. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

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. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 17.07.2025

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

Aldo Bisetti

A travers les piles
du pont Bessières

Compte tenu du milieu urbain dans lequel s'implante le *m2*, il est primordial que les concepts élaborés et les méthodes d'exécution retenues réduisent au minimum l'impact des travaux. Si la maîtrise des déformations induites par les travaux est à cet égard essentielle, elle revêt un caractère particulier pour le pont Bessières, ouvrage historique bientôt centenaire.

Contraintes extérieures

En situation, le tracé du *m2* est conditionné par le franchissement des piles du pont Bessières et par la nécessité d'implanter le tunnel sous la rue de Langallerie pour sortir de l'emprise des bâtiments. En élévation, ce sont le gabarit d'espace libre sous le pont St-Martin, l'intégration de la station Bessières sous la contrevoûte du pont existant et la faible couverture de terrain meuble sur le tunnel de Langallerie qui fixent le tracé.

Le contexte géologique est défavorable puisque seules les fondations du pont St-Martin et un tronçon restreint du tunnel sont situées dans la molasse. Les terrains meubles sus-jacents sont des moraines remaniées et des remblais de qualité moyenne. Ces terrains présentent une forte hétérogénéité et une déformabilité marquée.

L'accès au chantier est difficile et le maintien du trafic pendant les travaux est impératif. De plus, les ouvrages sont interdépendants : la construction du tunnel est subordonnée aux travaux de la station et l'ouverture des piles du pont Bessières conditionne l'achèvement du pont St-Martin.

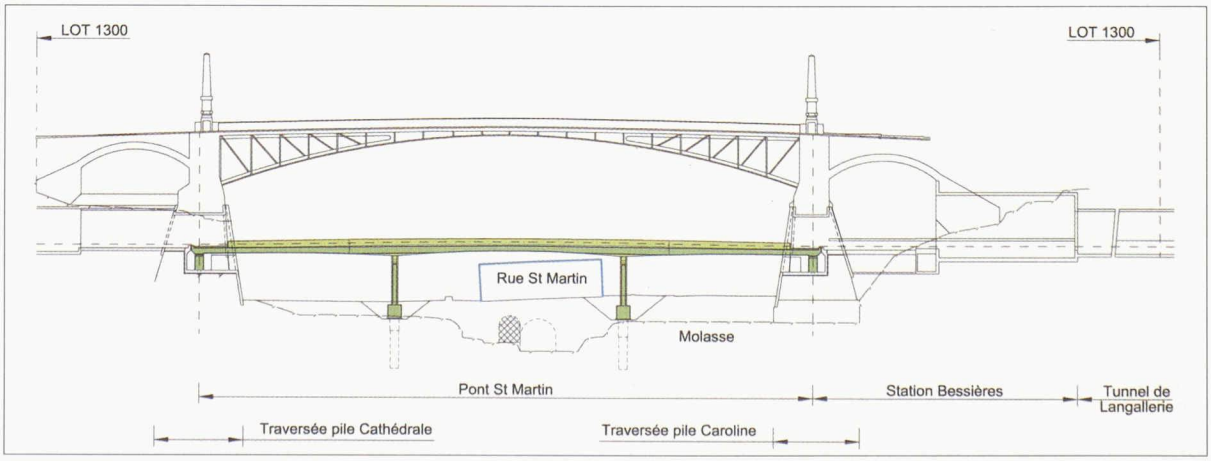
Les contraintes extérieures, la nature des ouvrages, la géologie et la logistique en site urbain confèrent au projet une grande complexité. De plus, le franchissement des piles du pont Bessières constitue un problème délicat pour lequel les expériences de travaux similaires sont plutôt rares.

Présentation générale du projet

Le lot 1300 comprend plusieurs ouvrages (fig. 1). Côté Cathédrale du pont Bessières, on trouve :

- un ouvrage souterrain de faible longueur qui permet le passage sous la culée en prolongement du tunnel de Viret et qui assure la liaison avec le lot 1200,
- une petite galerie couverte qui garantit la restitution d'un espace scénique sous la contrevoûte du pont,
- une grande ouverture dans la maçonnerie et la molasse qui permet la traversée de la pile.

Sous la voûte principale du pont, à 17 m en contrebas, le pont St-Martin franchit à faible hauteur la rue du même nom et permet l'aménagement des espaces à proximité.



1

Fig. 1 : Vue générale du m2 à proximité du pont Bessières (lot 1300)

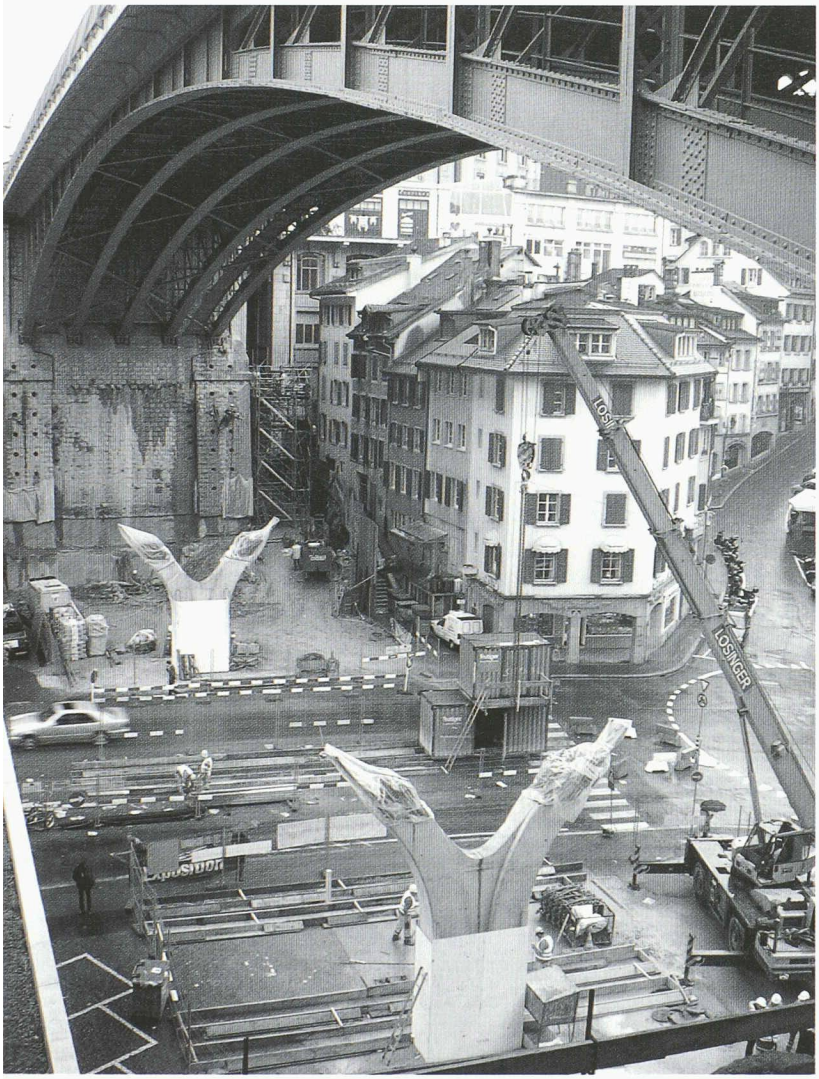
Fig. 2 : Vue générale du chantier sous le pont Bessières

Fig. 3 : Pile évasée du futur pont St-Martin

Fig. 4 : Armature de la pile du futur pont St-Martin (Photo métro m2 / Maurice Schobinger)

Fig. 5 : Vue schématique de la station Bessières

Fig. 6 : Pied de la pile Caroline et voûte parapluie pour la station Bessières (Photo métro m2 / Maurice Schobinger)



2

A l'extrémité Caroline du pont Bessières, on trouve également une importante ouverture dans la pile pour accéder à la station Bessières, elle-même divisée en une partie ouverte et un tronçon souterrain. A faible profondeur sous la rue Langallerie, entre les bâtiments qui bordent la chaussée, le tunnel de Langallerie assure la transition avec le lot 1400.

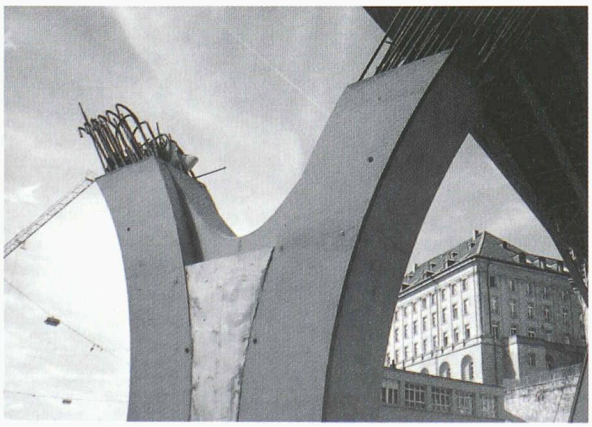
Pont St-Martin

D'une longueur totale de 85,7 m, l'ouvrage présente une structure monolithique flottante dont le tablier est réalisé sur cintre fixe.

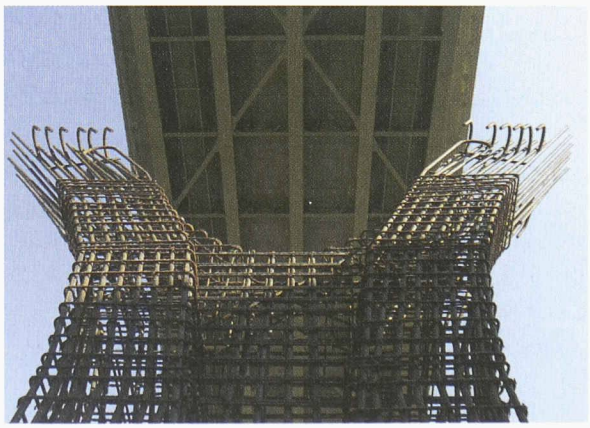
L'implantation de la travée centrale de 32 m répond à la structure métallique à âme pleine du pont Bessières. Les réactions d'appuis au droit des deux culées visitables sont reportées à l'axe des piles du pont existant. Le recours à un système flottant permet de limiter au maximum les interactions avec la structure du pont Bessières.

La section transversale du tablier est constituée d'une auge à inertie variable dont les bordures sont pleinement intégrées à la structure porteuse, ce qui permet de réduire sensiblement la hauteur statique de l'ouvrage. Les bordures sont interrompues devant les piles du pont Bessières, afin de limiter l'entaille nécessaire à leur franchissement.

La conception des piles est dictée par l'exigence de réduire au maximum leur emprise au sol ainsi que par le souci de maintenir une bonne transparence de l'ouvrage dans le sens longitudinal. L'évasement en tête des piles répond aux légères voûtes du tablier et souligne une transmission harmonieuse des sollicitations (fig. 3 et 4). Ces piles sont fondées sur deux pieux forés tubés (DN 1,3 m) de 7 m de longueur fichés dans la molasse.



3



4

Station Bessières

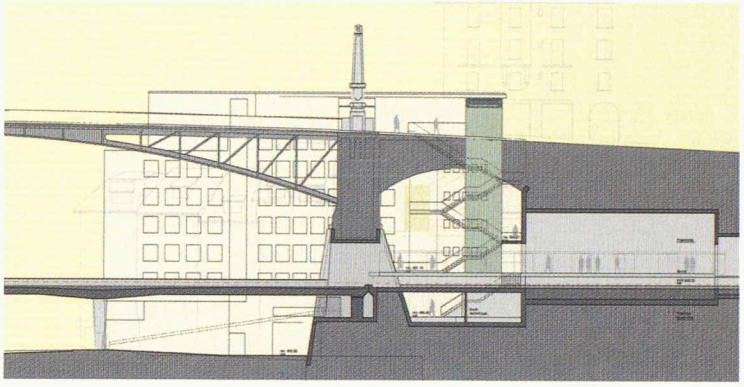
D'une longueur totale de 33 m, cette station se divise en deux zones distinctes (fig. 5). Une première partie ouverte est logée sous la contrevoûte existante du pont Bessières. Elle comprend les escaliers, les ascenseurs, un passage inférieur et une passerelle au-dessus des voies qui assurent la desserte de la station. Une deuxième partie souterraine est excavée dans la culée du pont Bessières ainsi que dans les terrains meubles et la molasse situés sous le carrefour Caroline. Cette partie comprend uniquement des quais d'accès.

La construction de cette seconde partie est délicate puisqu'elle supprime une part importante de la culée du pont Bessières et rencontre, dans sa partie terminale, des matériaux de remblayage de qualité médiocre. Ces conditions nécessitent la mise en place préalable d'une voûte parapluie (fig. 6) et le recours à une excavation en section divisée.

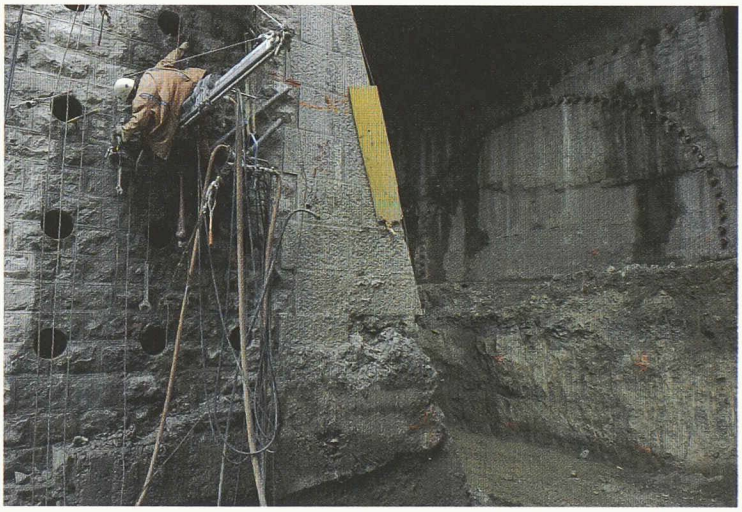
Par opposition à une exécution conventionnelle, cette voûte parapluie est cylindrique et sa mise en place se fait en une seule volée de 21 m, réalisée avant les travaux d'excavation. Elle se compose de tubes métalliques scellés au coulis de ciment et de boulons autoforeurs scellés à la résine.

Exécutés à l'abri de cette voûte, les travaux débutent par l'excavation à la haveuse de deux galeries latérales. Le soutènement de ces galeries, mis en place à l'avancement, se compose de béton armé coulé sur les parois extérieures et de béton projeté muni de fibres sur les parois intérieures provisoires. L'excavation de la calotte permet alors de fermer le soutènement de voûte de la station et l'excavation du stross termine l'ouverture complète de la section. Chaque phase d'excavation comprend la mise en place d'un blindage du front de taille adapté aux conditions géologiques.

Le revêtement de la station est constitué d'un anneau de béton armé. Le radier contrevoûté assure la stabilité des voies ainsi que la reprise des pressions engendrées par l'eau et le gonflement. L'anneau intérieur est muni d'une étanchéité qui couvre la calotte et les piédroits. Un système de drainage assure la collecte et l'évacuation des eaux du massif.



5



6

Tunnel de Langallerie

D'une longueur totale de 136 m, le tunnel présente un tronçon rectiligne de 56 m à la sortie de la station et un tronçon courbe de 80 m avec un faible rayon de courbure horizontal. La pente longitudinale est nulle sur la majeure partie de l'ouvrage et suit un rayon vertical de 800 m à l'approche du lot 1400.

L'impossibilité d'une perturbation majeure du trafic ainsi que la présence d'un réseau très dense de conduites ont d'emblée exclu toutes les variantes à ciel ouvert au profit d'une réalisation en souterrain. Le tunnel est cependant réalisé dans des conditions géologiques difficiles, puisque sa section se situe presque toujours entièrement dans des terrains meubles, à l'exception d'un court tronçon où la molasse devrait être atteinte. En plus des difficultés liées à la nature des sols rencontrés (faible cohésion et déformabilité élevée), l'excavation est également rendue complexe par la faible couverture et la présence de nombreux bâtiments.

Ces conditions défavorables, combinées à une indispensable maîtrise des tassements en surface, ont conduit à prévoir l'exécution préalable de deux galeries de pieds à partir desquelles sont mises en place les fondations pour le soutènement de la calotte. Ces fondations, qui présentent une semelle élargie et une forte rigidité, sont continues sur toute

Fig. 7 : Renforcement transversal des piles

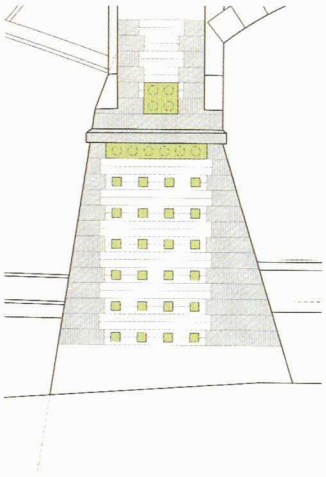
Fig. 8 et 9 : Renforcement longitudinal des piles

Fig. 10 : Mise en place des barres transversales de la pile Caroline (Photo métro m2 / Maurice Schobinger)

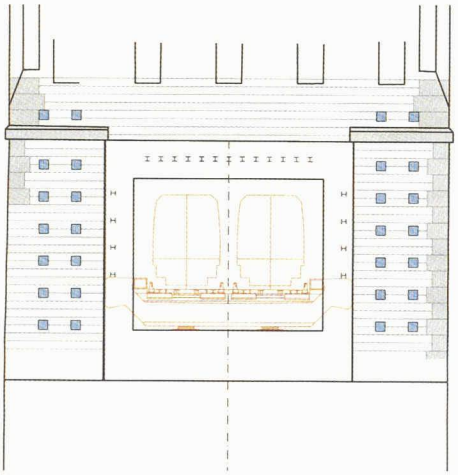
Fig. 11 : Modélisation de la pile Caroline du pont Bessières

Fig. 12 : Modélisation de la station Bessières

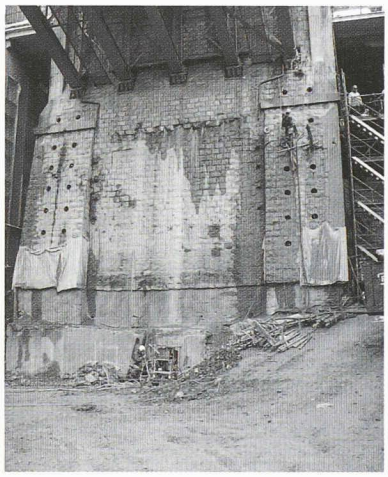
(Sauf mention, tous les documents illustrant cet article ont été fournis par l'auteur)



7



8



9

la longueur du tunnel. Elles assurent une réduction sensible des contraintes et permettent de traverser les zones défavorables sans augmentation de tassement. La réalisation des galeries de pieds sur toute la longueur constitue par ailleurs une reconnaissance complémentaire bienvenue, notamment pour le problème délicat de la stabilité du front d'attaque.

Après la construction de ces galeries, l'excavation est réalisée par demi-section (calotte, stross, radier) à l'abri d'une voûte parapluie, laquelle permet notamment de minimiser les tassements et d'améliorer la stabilité du front de taille. Les étapes d'excavation sont adaptées aux conditions géologiques et un soutènement conventionnel (cintres lourds, treillis de coffrage et béton coulé) est systématiquement mis en place à l'avancement. Un blindage du front de taille est prévu pour chaque phase d'excavation.

Le revêtement est constitué d'un anneau de béton fermé par un radier contrevoûté armé. On prévoit également un système de drainage, une étanchéité conventionnelle en voûte et piédroits (lés PVC) ainsi qu'un anneau intérieur en béton coffré. Une variante envisageant la mise en place d'une étanchéité giclée et d'un revêtement en béton projeté est actuellement à l'étude.

Traversée des piles Bessières

A l'exception de quelques adaptations aux particularités de chaque pile, la méthode adoptée pour la traversée des piles Caroline et Cathédrale est identique. Ces piles comprennent une maçonnerie de parement en pierres de taille appareillées et un noyau - composé d'éclats de moellons, de pierres et de mortier - pouvant comporter des vides. Ces matériaux ont une résistance très limitée à la traction.

La méthode d'excavation retenue repose sur des principes développés pour les travaux souterrains : elle prévoit un renforcement préalable de la pile, une excavation par étapes et une mise en place progressive du soutènement.

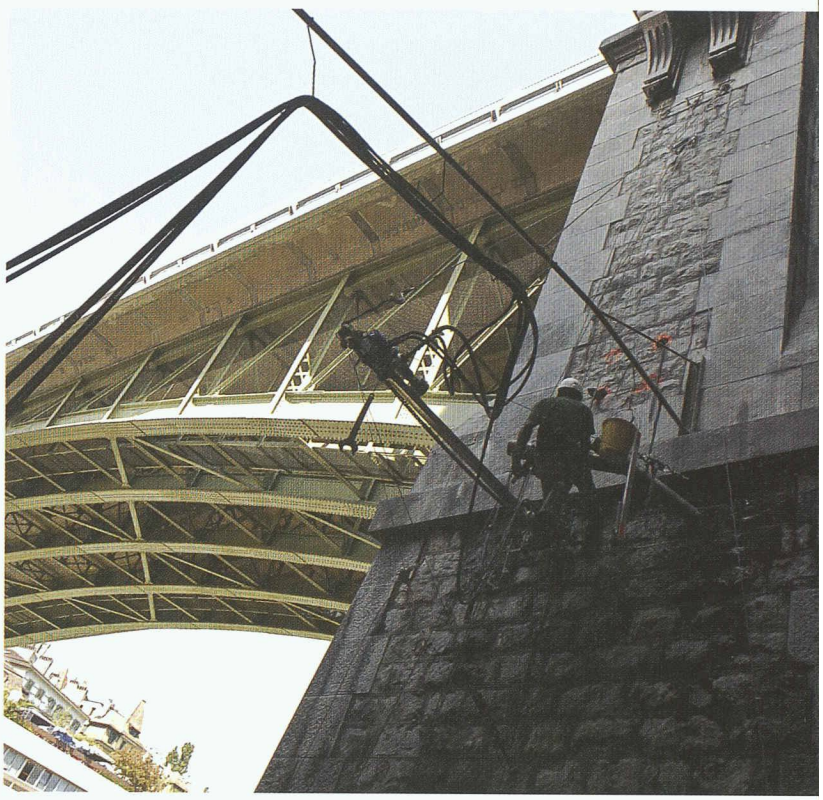
Le renforcement des piles se fait avec des tirants, des barres et des profilés scellés dans la maçonnerie (fig. 7 à 10). Des tirants transversaux - dix câbles 16T13S situés au-dessus de l'ouverture - assurent la reprise des efforts de déviation induits par l'ouverture. Des barres transversales et longitudinales, de diamètre 32 mm, sont mises en place dans les piliers résiduels situés de chaque côté de l'ouverture, afin d'assurer un frettage horizontal et d'améliorer la résistance au cisaillement de la maçonnerie. Des profilés métalliques (HEB, tubes), implantés autour de l'excavation, agissent à la manière d'une voûte parapluie.

Tous les éléments métalliques de renforcement sont scellés par injections dans la maçonnerie. Les tirants sont précontraints (env. 0,5 f_{tk}) et équipés d'une isolation électrique. Les barres sont légèrement précontraintes, mais seuls les éléments longitudinaux sont isolés électriquement. La mise à terre des barres transversales est réalisée par connexion à l'armature du cadre en béton.

L'excavation dans les piles et la mise en place du cadre en béton armé sont réalisées de manière progressive, en commençant par les éléments d'extrémité, rigides et fortement armés. La partie centrale, réalisée à l'abri de la voûte parapluie, est ensuite subdivisée et le cadre en béton, rigide et bien armé transversalement, est progressivement complété. Le banc de culée et la chambre de visite sont finalement réalisés à l'intérieur du cadre en béton.

Les têtes de tirants sont noyées dans un sommier en béton

qui permet de répartir les efforts dans la maçonnerie, de cacher les imperfections de mise en place et d'assurer la durabilité des éléments métalliques de renforcement. Les têtes des barres sont protégées à l'aide de plaques préfabriquées en béton polymère. Tous ces éléments d'ancrage en béton sont disposés de manière régulière et harmonieuse par rapport à la corniche et au chaînage des pierres d'angle.



10

Modélisation et contrôles d'exécution

Deux modèles de calcul ont été utilisés pour évaluer la sécurité structurale des piles. Il s'agit d'une part d'un modèle simple constitué de bielles comprimées (maçonnerie) et de tirants (éléments métalliques de renforcement), d'autre part d'un modèle 3D aux éléments finis pour simuler les différentes étapes de réalisation (fig. 11). Ce second modèle a également permis d'estimer les augmentations de contraintes et les déformations engendrées par l'excavation.

Différents modèles 2D et 3D aux éléments finis ont servi de base, pour la station et le tunnel, à l'estimation des tassements de surface (fig. 12).

Tous ces modèles ont finalement permis d'estimer les déformations que le pont Bessières allait subir durant les travaux du *m2*. Cette analyse a démontré que les déformations imposées à la voûte métallique et à la contrevoûte maçonnée étaient admissibles. Elle a également servi de base au plan de contrôle et de surveillance qui sera mis en œuvre dès le début des travaux.

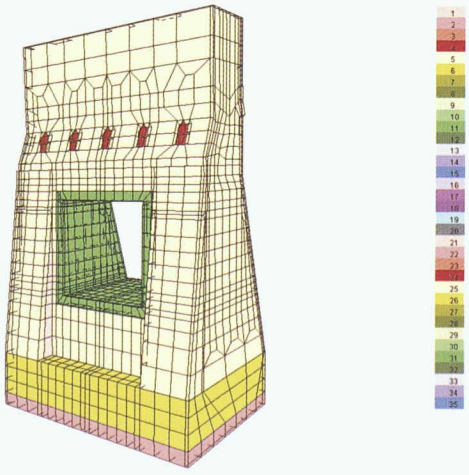
Aldo Bisetti, ing. civil diplômé EPF/SIA
GVH Tramelan SA, rue de la Paix 30, CH - 2720 Tramelan

Groupement d'étude GEMEL

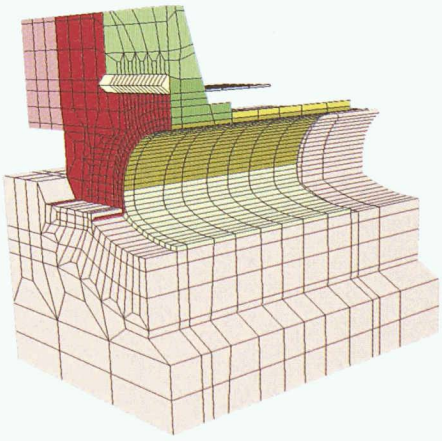
Bureaux d'ingénieurs :
GVH Tramelan SA, Tramelan, pilote
Fellrath et Bosso SA, Le Mont-sur-Lausanne
Passera & Pedretti, Grancia-Lugano

Bureau d'architectes :
Lorenz Bräker et partenaires, Lausanne

Bureau de géologie et géotechnique :
Géotest SA, Cheseaux-sur-Lausanne



11



12