

Zeitschrift: Ingénieurs et architectes suisses
Band: 126 (2000)
Heft: 20

Artikel: Les ouvrages souterrains: tunnels de Sauges et de Gorgier
Autor: Jeanneret, Jean-Marc
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-81523>

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: 29.03.2025

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

Les ouvrages **souterrains** : tunnels de Sauges et de Gorgier

(ROUTE NATIONALE 5)

Le tunnel de Sauges

Depuis le sud du village de Vaumarcus jusqu'au nord de celui de St-Aubin, le tunnel de Sauges fait passer la route nationale 5 sous la localité du même nom. L'ouvrage est constitué de deux tubes de section circulaire d'un rayon intérieur de 5,10 m, qui permettent chacun le passage d'une chaussée à deux voies de 7,75 m de largeur au total, flanquée de deux banquettes latérales.

Géologie

D'une longueur de 1910 m, le tunnel de Sauges, est presque entièrement creusé dans les couches calcaires de l'Hauterivien supérieur (pierre jaune d'Hauterive), à l'exception des premiers mètres côté Vaumarcus où il traverse le remblai de la ligne CFF du pied du Jura et un tronçon dont le radier est situé dans la zone de transition entre le Hauterivien supérieur et le Hauterivien inférieur (calcaires marneux). Au portail de Vaumarcus, le radier du tunnel, se situe trois mètres sous le niveau moyen du lac.

Réalisation

Après l'exécution des travaux préparatoires sous le tunnel CFF Rail 2000, le tunnel a été excavé en deux phases à l'aide d'un tunnelier à pleine section d'un diamètre de 4,5 m pour la galerie pilote, puis d'un tunnelier alésage dont les caractéristiques sont résumées dans le tableau 1.

L'avancement mécanisé présentait plusieurs avantages: réduction des ébranlements avec les problèmes de voisinage qui y sont liés, limitation des hors-profils géologiques, aspiration des poussières devant le tunnelier alésage assurant une bonne qualité de l'air dans le tunnel (où se déroulaient de nombreuses activités) et reconnaissance partielle du massif avant l'alésage (bien que certains petits karsts aient passés inaperçus dans la galerie pilote). Cela dit et malgré son manque de souplesse pour les changements de section, l'excavation au tunnelier - qui est une variante d'entreprise - s'est avérée une bonne solution.

Lors du percement de la galerie pilote du tube nord, un karst d'une section d'environ un mètre carré (fig. 1) a été ren-

Tableau 1: les tunneliers

	Sauges		Gorgier
	Galerie pilote	Alésage	
Constructeur	Wirth	Wirth	Herrenknecht
Année de fabrication	1991	1990	1990
Diamètre de forage	4,5 m	11,0 à 11,2 m	11,71 m
Puissance	1200 kW	2000 kW	3900 kW
Nombre de molettes	35	58	76
Poussée sur la tête	870 t	1500 t	8000 t
Vitesse d'avancement instantanée	Max. 6 m/h	Max. 3,9 m/h	Max. 4,5 m/h
Poids	160 t	950 t	3300 t
Avancement journalier moyen (2 postes)	18,0 (N) m/j 28,5 (S) m/j	12,1 (N) m/j 14,1 (S) m/j	
Avancement journalier moyen (1 poste)			12,6 (N) m/j 14,2 (S) m/j
Avancement journalier moyen (2 postes)	52,6 (N) m/j 66,5 (S) m/j	27,9 (N) m/j 33,5 (S) m/j	
Avancement journalier moyen (1 poste)			21,6 (N) m/j 25,2 (S) m/j

Le tunnelier de Sauges a été utilisé précédemment pour le tunnel d'évitement de Locarno.

Le tunnelier de Gorgier a précédemment servi à excaver le tunnel CFF du Grauholz en équipement « Mixshield », puis les deux tubes du tunnel de Pomy sur la N1 à Yverdon.

Fig. 1 : Bétonnage de la chambre de captage des eaux du karst (Photo Jeanneret)

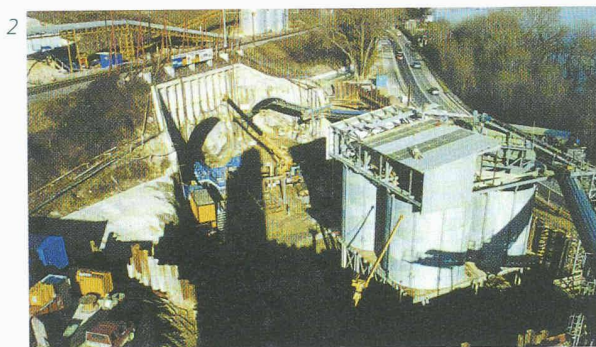
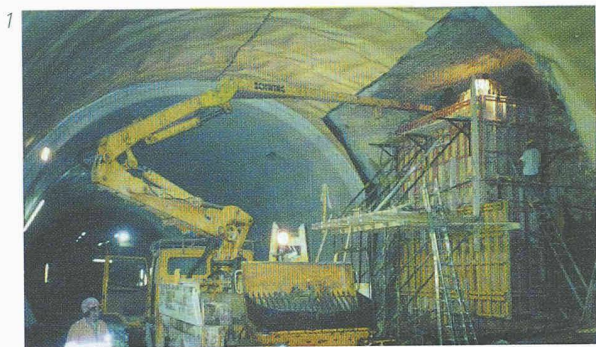


Fig. 2 : Portail du tunnel de Sauges à Vaumarcus; au dessus du portail, on distingue la voie CFF existante et, à l'arrière-plan, le chantier du tunnel ferroviaire de St-Aubin (Photo Jeanneret).

contré, dont l'étendue a été déterminée par une campagne de forages de reconnaissance réalisée à partir de celle-ci. Dans ce karst - qui a été rempli de mousse polyuréthane pour permettre le passage en toute sécurité du tunnelier pilote -, des venues d'eau estimées à 300 l/s se sont d'abord produites lors de fortes pluies en décembre 1999, puis d'autres, estimées à 1000 l/s, après le passage du tunnelier aléueur.

Pour assurer le captage et l'évacuation de ces eaux karstiques en phase d'exploitation, une chambre étanche a donc été construite pour les conduire, après mise en charge, jusqu'au ruisseau du Pontet situé en amont. Ce système est dimensionné pour évacuer jusqu'à 2000 l/s; en cas de débits supérieurs, il se mettrait en charge et l'eau se trouverait retenue dans le massif ou reconduite dans les ouvertures karstiques vers son exutoire naturel situé dans la vallée du Pontet. C'est pourquoi le revêtement du tunnel a été dimensionné pour résister à une pression de 8 bars.

Passage sous le tunnel Rail 2000

Les tunnels de l'A5 et de Rail 2000 se croisent à environ 150 m du portail de Sauges avec un angle de 30° et à une distance verticale entre ouvrages de quatre mètres.

La réalisation du tunnel des CFF ayant débuté avant celle de l'ouvrage routier, la calotte des deux tubes du second a donc été excavée jusqu'au-delà du tunnel ferroviaire dans le cadre de travaux préparatoires. Il s'agissait en effet de réaliser l'excavation du tunnel de Sauges avant le bétonnage de la voûte du tunnel Rail 2000, pour éviter des dégâts au revêtement. La limitation de la longueur des volées à 1 m, un cintreage systématique à l'avancement, ainsi qu'une consolidation préventive du massif à l'aide d'ancrages passifs mis en place depuis le tunnel ferroviaire ont permis de passer sous ce dernier sans problèmes et ses déformations ont été contrôlées par des mesures inclinométriques et tassométriques, ainsi que par des mesures de convergences.

Passage sous la voie CFF en service

Au droit du portail de Vaumarcus, le tunnel routier passe sous la voie CFF (fig. 2) et a été réalisé alors que celle-ci demeurait en service.

La calotte de chacun des tubes du tunnel est située dans le remblai lâche de la ligne de chemin de fer et le portail du tube nord, qui est parallèle aux rails, forme un angle de 45° avec l'axe du tunnel. Les mesures suivantes ont été prises pour la construction de l'ouvrage:

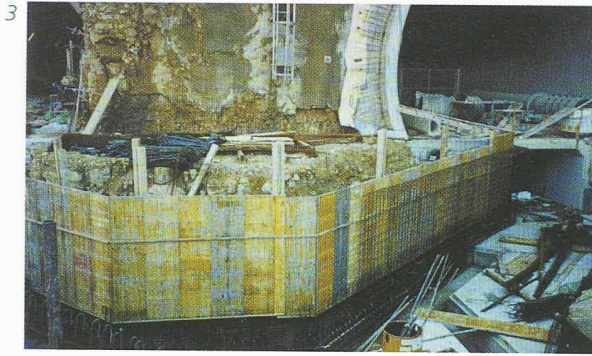
- réalisation d'une paroi ancrée, destinée à soutenir la voie CFF et implantée à six mètres de celle-ci; constituée de trente pieux verticaux forés de 90 cm de diamètre, cette paroi est stabilisée par cent deux ancres précontraints de 300 kN à 700 kN, entre huit et vingt mètres;
- renforcement du terrain sur le pourtour du profil du tunnel par la pose de quatre passes de voûtes parapluies, constituées chacune de vingt et un tubes en acier forés et injectés, ainsi que de quinze pieux en *jet-grouting* entre les tubes en acier;
- consolidation des fronts d'attaque par pieux en *jet-grouting*;
- pose de cintres métalliques à l'avancement;
- consolidation du remblai par injection de 130 tonnes de ciment depuis la plate-forme ferroviaire;
- limitation des ébranlements lors de l'excavation par l'utilisation d'une machine à attaque ponctuelle et la réduction de la longueur des volées lors des minages ponctuels nécessaires;
- contrôle des déformations à l'aide de nivelles automatiques placées sur les voies, d'extensomètres, de cellules électriques fixées sur les ancres et de relevés géodésiques mesurant les modifications d'état.

Ces mesures ont permis de limiter très largement le tassement des voies, sans toutefois l'empêcher totalement. Les tassements résiduels ayant atteint au total quinze centimètres, ils ont été compensés par plusieurs bourrages de ballast sous les traverses de chemin de fer.

Deux événements plus critiques mais sans conséquences graves ont marqué cette phase des travaux, il s'agit de la déformation de plusieurs centimètres de la paroi ancrée vers la fouille lors de l'injection de boulons passifs dans la zone du tube sud et de la déjection (flambage) des voies sous l'effet conjugué de la chaleur (ensoleillement) et de travaux de *jet-grouting*.

Remblai de part et d'autre de la galerie technique

Le tunnel est équipé d'une galerie technique (GAT) permettant de concentrer l'ensemble des conduites électromécaniques et la conduite de défense incendie dans un espace accessible en tout temps sans entraver la circulation. Située sous la chaussée



sée, elle est réalisée à l'aide d'éléments préfabriqués posés sur le radier voûté, tandis que le vide de chaque côté est comblé avec des matériaux d'excavation stabilisés au ciment (fig. 3).

La GAT constituant un point dur sous la chaussée, il a été nécessaire de fixer des exigences élevées quant à la compacité du remblai qui la flanque de part et d'autre, afin d'éviter des tassements différentiels de la chaussée. Or, ce remblai étant constitué de matériaux d'excavation, la présence de marnes ainsi qu'une granulométrie souvent variable ont, par endroits, empêché d'atteindre les valeurs ME requises. Ainsi, dans certaines zones, le matériau de remblai a dû être remplacé par de la grave I ou du béton non armé.

Coût

Le coût des travaux préparatoires s'est élevé à environ huit millions de francs, ceux du lot principal se montant à quelque nonante millions pour le génie civil des deux lots tunnels.

Le tunnel de Gorgier

Ce tunnel conduit l'A5 du nord de St-Aubin à l'est du village de Gorgier, en passant sous ce dernier. L'ouvrage comprend deux tubes de section circulaire d'un rayon intérieur de 5,13 m, dont chacun permet le passage d'une chaussée à deux voies de 7,60 m de largeur au total, flanquée de deux banquettes latérales.

Géologie

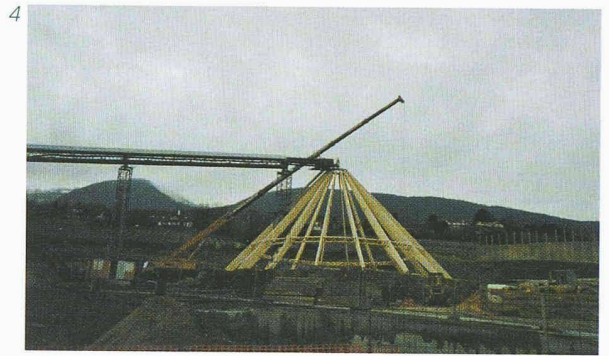
D'une longueur de 2720 m, le tunnel de Gorgier traverse les couches calcaires de l'Hauterivien supérieur (pierre jaune d'Hauterive) et celles, marneuses, de l'Hauterivien inférieur. Localement il perce le toit rocheux et pénètre dans des terrains meubles de l'époque quaternaire.

Au portail de St-Aubin, le tube nord est élargi à trois voies sur un tronçon de cinquante-cinq mètres environ pour permettre la construction de l'accès à la centrale de ventilation faisant office de jonction partielle.

Réalisation

Au droit du portail de St-Aubin, les cinquante-cinq premiers mètres du tube nord (section à trois voies) et trois mètres du portail du tube sud ont été excavés à la machine à attaque ponctuelle et à l'explosif. Quant à l'avancement des tubes nord et sud, il a été réalisé d'est en ouest au moyen d'un tunnelier à pleine section avec bouclier à jupe simple pour permettre la pose de voussoirs.

La décision de mettre en place des voussoirs est basée sur



une approche géologique et économique. En effet, sur deux tiers de sa longueur, le tunnel traverse des formations marneuses susceptibles de gonfler au contact de l'eau et les pressions engendrées par ce gonflement (ordre de grandeur 1000 kN/m²) sont reprises en partie par les voussoirs et en partie par le radier, qui est armé sur ces tronçons.

Du point de vue économique, il faut rappeler que la soumission du tunnel de Gorgier a été lancée au moment où se terminait l'excavation de celui de Pomy. Or le tunnelier qui venait d'y achever son travail a pu être proposé par l'entreprise à un prix défiant toute concurrence et même plus avantageux que les installations nécessaires à un avancement à l'explosif. De surcroît, la solution choisie permettait de mieux répondre aux exigences définies à l'issue de l'analyse de risques. On a ainsi pu renoncer à l'utilisation d'explosifs, dont l'emploi pour le percement du tunnel Rail 2000 avait entraîné des désagréments pour les riverains.

Tente à poussière

L'évacuation des matériaux a été assurée, du front au portail, par un ruban convoyeur. Le stock tampon que celui-ci alimente peut accumuler l'équivalent de deux jours d'avancement. Avec une production journalière de cinq mille tonnes, et une teneur en fines de l'ordre de 5% (soit 250 t), le déversement en chute libre des matériaux sur le tas, avec leur mouillage comme unique mesure de protection, ne permettait de capter qu'environ 90% des fines. Cela s'est traduit, au début du chantier, par des problèmes de voisinage: en effet, par fort vent d'ouest, les vingt cinq tonnes journalières de fines restantes se trouvaient emportées, se déposant dans les jardins, sur les terrasses et les toits des immeubles riverains et pénétrant dans les habitations même portes et fenêtres fermées. Afin de diminuer encore l'émission de poussière, l'entreprise a donc mis en place une tente en forme de tipi (fig. 4) recouvrant l'ensemble du tas, avec une ouverture à la base qui permettait l'accès aux engins de chantier en cas de besoin. Extraits à la base du tas par un ruban qui les acheminait jusqu'au bord du lac, les matériaux étaient ensuite chargés sur des chalands (fig. 5). Cette solution a permis d'améliorer sensiblement la situation et d'assurer une qualité de vie acceptable aux abords immédiats du chantier.

Étanchéité

Les conditions hydrogéologiques du massif traversé devant être rétablies à la fin des travaux pour ne pas perturber, à long terme, l'alimentation des nappes souterraines et sources



5

Fig. 3: Portail du tunnel de Sauges, côté St-Aubin, avec galerie technique (GAT) et canal de liaison entre les GAT des deux tubes (en construction) (Photo Jeanneret)

Fig. 4: Tente à poussière lors du montage (Photo Jeanneret)

Fig. 5: Chargement des matériaux d'excavation sur les bateaux (Photo Jeanneret)

Fig. 6: Coupe longitudinale du tunnelier

d'eau potable, le tunnel a été conçu comme un ouvrage étanche et sans drainage. Il est dimensionné pour résister à des pressions hydrostatiques pouvant aller jusqu'à quatre bars, hauteur maximale.

Tenant compte des difficultés que pose la réparation de défauts d'étanchéité, le concept suivant a été retenu pour maîtriser les venues d'eau éventuelles:

- l'étanchéité de la voûte, constituée d'une natte géotextile et d'un lé d'étanchéité en FPO (polyoléfine flexible) de trois millimètres, est recouverte d'une feuille gaufrée. Le vide ainsi créé, permet aux eaux résiduelles de s'écouler vers les pieds-droits, où elles sont collectées et évacuées par gravité à l'intérieur de l'ouvrage;
- l'étanchéité du radier - où l'évacuation par gravité des eaux infiltrées n'est pas possible - est assurée par des compartiments cloisonnés et injectables en cas de fuite d'eau, si nécessaire après la mise en service.

Pour décharger le massif pendant la mise en place de l'étanchéité, des puits de décharge, aménagés dans le profil de la galerie technique, sont disposés à intervalles de nonante mètres dans le radier. A la fin des travaux, ils seront fermés par des couvercles étanches boulonnés et, en cas de besoin, il sera possible de les relier à un collecteur pour drainer ultérieurement le massif.

Passage sous le ruisseau de l'Argentine

Le passage du tunnel sous le ruisseau de l'Argentine représente un point particulièrement critique de l'ouvrage. A cet endroit, le recouvrement est très faible (environ un mètre) et la moitié de la section se situe en terrain meuble dans les sillons morainiques du lit du ruisseau, caractéristique géolo-

gique qui se retrouve en deux autres points sur la longueur du tube sud.

Pour préserver l'aspect du vallon, les travaux en surface ont été limités à une déviation provisoire du ruisseau et aux travaux de consolidation des fondations du moulin de la Foule sis à quinze mètres de l'axe du tube nord. Les travaux souterrains ont été réalisés de la façon suivante: par la galerie de décharge, une machine à attaque ponctuelle a excavé la calotte avant le passage du tunnelier. L'avancement de cette machine s'est fait mètre par mètre, à l'abri d'une voûte parapluie en tubes métalliques injectés de coulis de ciment. Le soutènement en cintres métalliques avec tôles de garnissage et remplissage de béton a également été mis en place à l'avancement. Le tunnelier a ainsi pu traverser la zone sans incident et sans déformation majeure en surface. L'espace entre les voussoirs et le soutènement a été comblé à l'aide de gravier injecté.

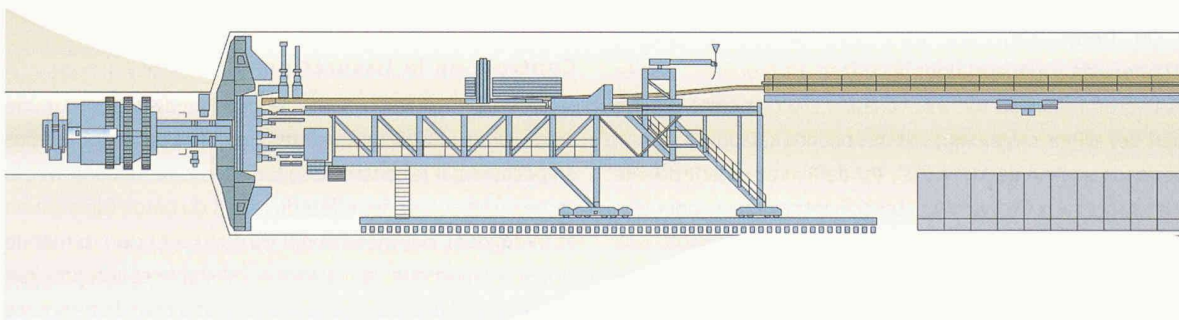
Mise en place des tubes PE

Pour les besoins des installations électromécaniques, trois tubes PE ont été mis en place systématiquement tous les cinquante mètres sur tout le pourtour de l'anneau intérieur, avec des boîtes de passage disposées dans les consoles d'appui de la dalle intermédiaire et dans la voûte. Depuis la boîte de passage, située dans l'appui de la dalle intermédiaire, un quatrième tube descend jusqu'au niveau de la banquette où sera placé un luminaire incendie.

La mise en place de ces tubes exige une fixation solide, afin d'éviter leur déformation pendant le bétonnage de la voûte. L'entreprise a choisi de disposer un cintre réticulé de part et d'autre de la batterie de tubes, cette manière de faire permettant la pose des tubes indépendamment du coffrage.

Coût

Le coût des travaux de génie civil du tunnel de Gorgier s'élève à cent quarante millions de francs. Ce montant comprend la réalisation de la galerie de décharge, le tronçon à trois voies et la tranchée couverte de Gorgier, tronçon de 87 m réalisé à ciel ouvert.



6