

Zeitschrift: Tracés : bulletin technique de la Suisse romande
Herausgeber: Société suisse des ingénieurs et des architectes
Band: 133 (2007)
Heft: 22: Alptransit au Tessin

Artikel: Percer la base du Ceneri
Autor: Pini, Olimpio / Erard, Pierre-François / Del Col, Alberto
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-99625>

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: 02.02.2025

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

Percer la base du Ceneri

GÉNIE CIVIL

S'il ne présente évidemment pas les statistiques records des deux ouvrages principaux des NLFA, le tunnel de base du Ceneri constitue lui aussi un défi de taille. Présentation du projet envisagé pour traverser ce massif.

En plus de chercher à minimiser les effets en surface (tassements, vibrations) et l'impact environnemental des travaux, la méthode envisagée pour traverser les roches du Ceneri intègre bien sûr des contraintes de coûts et de délai. Du point de vue technique, le concept d'avancement mis au point repose sur des campagnes de prospection géologique.

Situation géologique

Le tunnel de base du Ceneri est entièrement situé dans le soubassement cristallin des Alpes méridionales (fig. 3). L'histoire géologique de ces roches est ancienne et leur genèse remonte probablement à l'ère précambrienne, soit à quelque 590 millions d'années. Bien que les témoignages des mouvements orogéniques et tectoniques les plus anciens aient été en partie effacés au cours du temps, il est possible de retrouver des traces de l'évolution tectono-métamorphique hercynienne (380 - 340 mio. d'années), de l'épisode de distension Permo-Mésozoïque (280 - 120 mio.

d'années) et naturellement de l'histoire alpine « récente » (100 mio - 0 années).

Le soubassement des Alpes méridionales est tectoniquement séparé des nappes penniques des Alpes centrales par la ligne insubrienne située au Nord du portail de Vigana. Le soubassement Sud-alpin s'étend du Sud de la plaine de Magadino jusqu'au-delà du portail de Vezia, à la hauteur du lac de Lugano, où il disparaît sous les nappes de couverture (sédimentaires) Permo-Mésozoïque des Alpes méridionales du bassin Lombard.

On peut diviser les unités lithostratigraphiques traversées par le tunnel en deux zones :

- au Nord : la zone du Ceneri (ZC, 10,2 km)
- au Sud : la zone de la Val Colla (ZVC, 4,6 km)

La zone du Ceneri est essentiellement constituée de gneiss et, dans une moindre mesure, de roches basiques et ultrabasiques (amphibolites, serpentinites p. ex.) ayant toutes subi un métamorphisme important (faciès amphibolite). Toute cette zone est également affectée par une tectonique complexe dont la conséquence principale résulte en un pendage élevé des structures planaires (schistosité, contacts lithologiques, plans axiaux des plis).

La zone de la Val Colla comprend également une succession de para et ortho-gneiss, associée à des roches basiques intermédiaires (schistes à hornblende).

C'est surtout au niveau de leur géométrie structurale que ces deux zones se distinguent : dans la zone de la Val Colla, les structures planaires sont tendanciellement subhorizontales, tandis qu'elles sont plutôt verticales dans la zone du Ceneri.

L'interface entre ces deux zones, d'une épaisseur de 600 m, est constituée par la « Linea della Val Colla » (LVC). Elle est essentiellement composée de mylonites (représentées par des schistes à granulation fine et teneur en micas souvent élevée) résultant d'une intense déformation ductile préalpine, datant probablement de 290 à 240 millions d'années. Une déformation fragile tardi-alpine ultérieure réactivera le faisceau mylonitique de la LVC, donnant ainsi naissance à une série de failles cataclastiques-kakiritiques orientées principalement

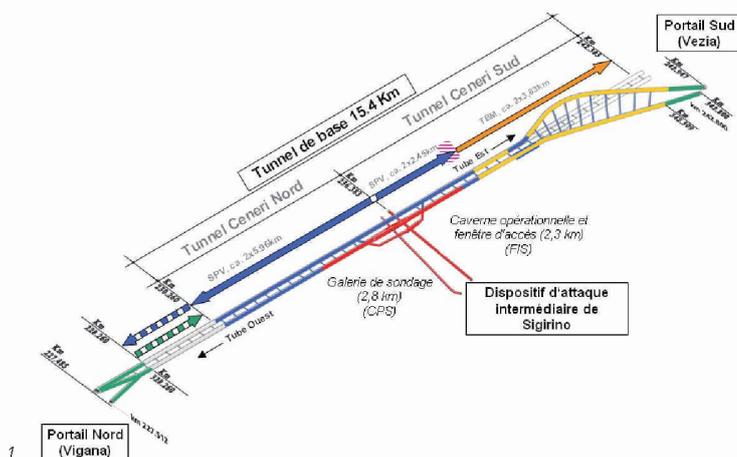


Fig. 1 : Schéma général du tunnel et principe de creusement à partir du dispositif d'attaque intermédiaire

Fig. 2 : Vue aérienne de la zone de Sigirino

Fig. 3 : Géologie générale du tunnel, coupe et vue en plan

selon une direction Est Nord Est – Ouest Sud Ouest. Ce système est connu sous le nom de « Linea della Gazzirola ».

L'ensemble du massif rocheux est parcouru par des diaclases et il est prévu de traverser quelques zones de failles (tectonique alpine fragile, en particulier phase insubrienne). Bien que le massif rocheux soit recouvert de sédiments quaternaires de nature alluviale, détritique, fluvio-glaciaire et glaciaire, le creusement du tunnel de base ne traversera des matériaux meubles que dans des zones limitées aux portails d'entrée Nord et Sud.

L'aire de « Prati di Regada » à Sigirino (où se situe le chantier principal) est formée, sur la rive gauche du Vedeggio, d'une terrasse alluviale dont les caractéristiques géotechniques défavorables ont été mises en évidence par des campagnes de forages et de la géophysique.

Un point d'attaque intermédiaire

Le creusement du tunnel de base se fera simultanément dans les directions Nord et Sud à partir d'un même point d'attaque intermédiaire situé à Sigirino (fig. 1). Son élément central est une caverne opérationnelle (CAOP).

Le point d'attaque en lui-même comprend trois ouvrages principaux. Il s'agit tout d'abord de l'actuelle galerie de prospection CPS (« cunicolo di prospezione di Sigirino »). Réalisée entre 1997 et 2002 pour mieux définir la géologie et l'hydrogéologie de la zone du Ceneri, c'est elle qui a fourni les informations géotechniques ayant conforté le choix du type d'avancement, un choix qui inclut aussi des critères de coûts



et de délais. Présentant une pente de 4,6 % pour une longueur de 3,1 km, elle se situe à une distance moyenne de 500 m du second élément principal, la future « Finestra di Sigirino » (FIS). Cette dernière constituera la galerie technique d'accès au tunnel principal et sera réalisée à l'aide d'un tunnelier de type TBM. Son creusement devrait être achevé à fin 2008. Ces deux galeries déboucheront dans la CAOP, située sur l'axe du tunnel de base, à partir de laquelle les percements Nord et Sud débiteront. Compte tenu de ses dimensions (plus de 270 m² de section), cette caverne sera excavée à l'explosif en sections partielles. Sa réalisation devrait durer jusqu'à fin 2009.

Vers le Nord, le tunnel de base sera creusé conventionnellement à l'explosif à partir de la CAOP. L'excavation des deux tubes parallèles aura lieu simultanément. Un avance-

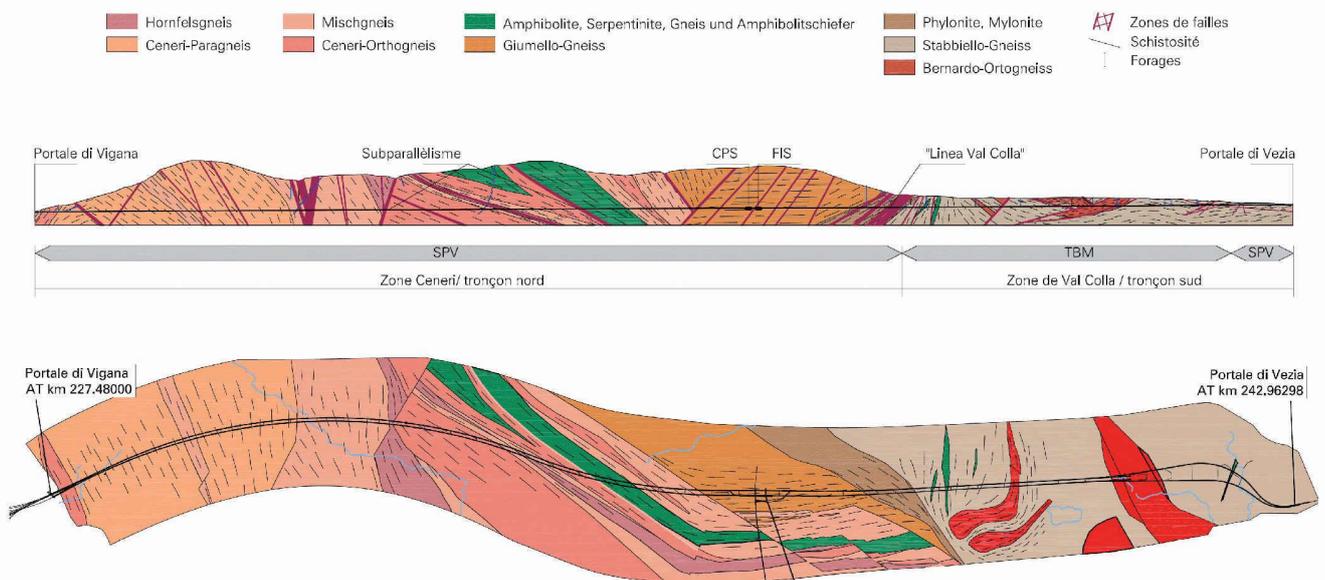


Fig. 4 : Aménagement de l'installation de bétonnage dans la CAOP

Fig. 5 : Schéma de l'état actuel de la CAOP

Fig. 6 : Schéma d'organisation de la CAOP pour le percement des tunnels de base

ment mécanisé (TBM) n'a pas été retenu ici, les prévisions géologiques ayant révélé des risques de rencontrer des zones perturbées susceptibles d'entraver le bon fonctionnement de la machine.

L'avancement vers le Sud se fera également depuis la CAOP, mais selon un autre mode opératoire. De la caverne à la Linea della Val Colla (LVC), l'avancement sera effectué à l'explosif sur une longueur de 2,5 km. Des mesures particulières de consolidation et de soutènement seront mises en place pour la traversée de la zone instable LVC.

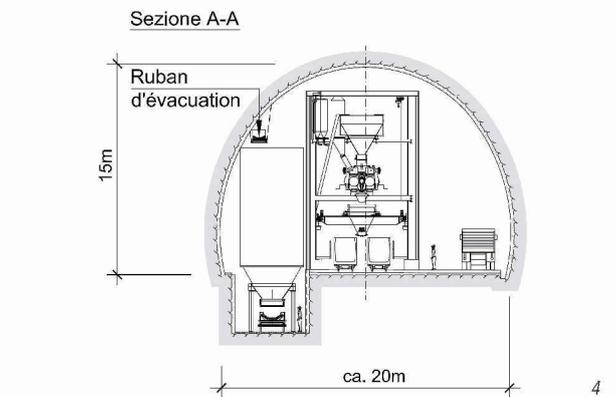
Au-delà de cette zone, les travaux progresseront à l'aide d'une seule TBM qui sera mise en activité successivement dans les deux tubes, en commençant par le tube Ouest. La machine sera montée et déplacée dans des cavernes spécialement réalisées à cet effet. Au vu de la situation géologique peu favorable (en particulier due à une schistosité subhorizontale dominante), il est prévu d'employer une perforatrice de type fermé et de procéder à la pose de voussoirs. L'appel d'offre laisse toutefois ouvert le choix du mode d'excavation pour cette zone : des variantes à l'explosif pourraient en particulier y remplacer l'avancement au tunnelier.

Enfin, les deux bifurcations de la galerie de base situées à proximité du portail Sud seront creusées à l'explosif.

Etat des travaux

Le mardi 11 septembre 2007 à Sigirino, un tir de mine a marqué le début officiel des travaux d'excavation du tunnel de base du Ceneri et la fin des travaux préliminaires initiés en avril 2006. Ces derniers comprenaient notamment la mise en place de l'infrastructure d'accès, notamment un pont et une passerelle piétonne, des dortoirs destinés aux mineurs et aux différents collaborateurs ainsi que les baraques de la direction des travaux et les infrastructures dédiées à l'évacuation des eaux.

La logistique du chantier garantit son raccordement provisoire au réseau routier par le biais de deux sorties d'autoroute qui lui sont spécialement dédiées et d'une jonction sur la route



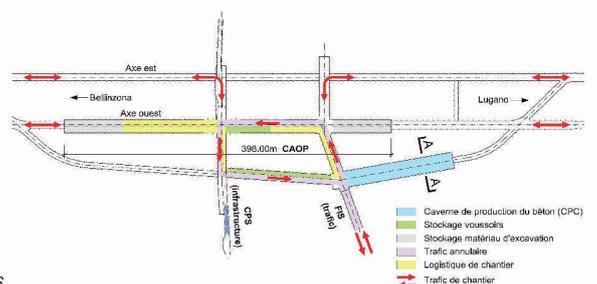
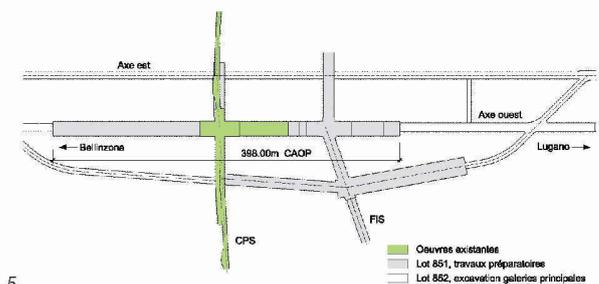
cantonale. Le lien avec le réseau ferroviaire est quant à lui assuré par le biais d'une nouvelle gare de transbordement, elle aussi provisoire.

Il faut aussi souligner que l'aire des travaux recouvre partiellement les abords immédiats de la rivière Vedeggio, ce qui implique qu'un soin particulier soit apporté à la gestion environnementale. Ajoutons enfin que le chantier a reçu un accueil positif de la part des habitants des villages environnants (fig. 2).

Caverne opérationnelle de Sigirino

Comme décrit précédemment, la majeure partie de l'ouvrage souterrain sera creusé à partir d'un seul dispositif logistique, situé dans la partie médiane du tunnel de base, entre les communes de Sigirino, Mezzovico-Vira et Camignolo. Ce centre logistique s'articule autour de trois ouvrages qui seront conservés lors de la phase opérationnelle des tunnels de base: la galerie de prospection (CPS), la Finestra di Sigirino (FIS) et la caverne opérationnelle (CAOP).

Premier de ces trois éléments, la CPS est déjà réalisée et servira de liaison technique avec l'extérieur et d'éventuel accès de secours lorsque les tunnels seront en fonction. Elle sera aménagée en conséquence et dotée de son propre système de ventilation.



Le creusement mécanisé (TBM) de la FIS ainsi que les opérations de bétonnage du radier et de démontage de l'exca-vatrice débuteront en février 2008 et dureront jusqu'à janvier 2009. La finestra aura une longueur de 2 320 m et présentera une pente de 4,8 %. Lors de la phase d'exploitation du tunnel de base, elle fera partie du système de ventilation de secours par le biais d'une centrale de ventilation située dans le portail extérieur. Pour éviter tout risque lié à un éventuel transit d'air très chaud (incendie), la finestra sera dépourvu de toute installation électromécanique.

La caverne opérationnelle, pièce maîtresse de la logistique de construction du tunnel de base et véritable chantier souterrain, sera située à l'intersection entre les galeries principales, la FIS et la CPS. Elle se subdivisera en plusieurs éléments opérationnels principaux reliés entre eux par deux galeries transversales permettant un trafic de chantier annulaire et une jonction avec les rampes d'accès (FIS et CPS). La CAOP comprend (fig. 6):

- la caverne opérationnelle au sens propre, d'une longueur de 398 m: située sur l'axe Ouest du tunnel de base, c'est en son sein que seront effectuées la plupart des opérations logistiques nécessaires à la réalisation du tunnel de base;

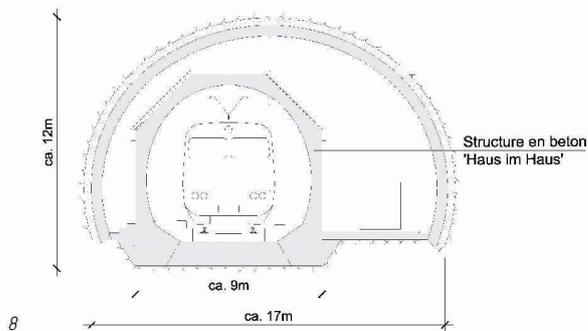
- une caverne dédiée à la production du béton (CPC), d'une longueur de 150 m,
- une caverne de raccordement annulaire, d'une longueur de 130 m: elle assure la circulation entre les divers éléments ainsi que la jonction vers la finestra.
- deux cavernes transversales de ventilation, d'une longueur de 80 m, situées dans le prolongement de la FIS (CT-Vent-1 et CT-Vent-2).
- une caverne-galerie transversale, d'une longueur de 70 m: située dans le prolongement de la CPS (CT 26-T), elle permet la jonction vers cette dernière et participe à la circulation entre les différents éléments souterrains.

Les dimensions des divers composants de la CAOP sont dictées par des exigences liées à la phase de réalisation. En plus de l'équipement habituel nécessaire pour la construction d'une galerie (ventilation, conduite d'eau et d'électricité, transport des matériaux), d'autres infrastructures nécessaires à la logistique de construction trouveront également leur place dans ces diverses cavernes (fig. 4 à 6).

Durant la phase de travaux, les matériaux d'excavation seront évacués par tapis roulants dans la galerie de base, alors que le transport des matériaux utilisés pour la construc-



Fig. 8 : Section type de la CAOP ouest rendue opérationnelle pour le trafic ferroviaire. Une enveloppe en béton circonscrit le passage des trains afin de ne pas rompre la continuité aérodynamique du tracé.



tion s'effectuera par rail ou par camion. Le flux de matériaux vers l'extérieur s'effectuera quant à lui au travers de la FIS au moyen de tapis roulants et de transports routiers. La construction de la CAOP en elle-même – qui est déjà partiellement existante à la suite de la réalisation de la CPS – est prévue sur une durée totale de 25 mois, entre décembre 2007 et début 2010.

D'un point de vue géologique, les volumes constituant la caverne opérationnelle sont situés dans les gneiss du Giumello. Ils devraient traverser une ou deux zones de faille d'importance moyenne à faible. Le dimensionnement de l'ouvrage et la logistique d'excavation ont été établis sur la base de cette hypothèse. Le creusement s'effectuera à l'explosif (section partielle), les contraintes géotechniques devant déterminer les dimensions et le type de mise en sécurité à adopter. Il est actuellement prévu de commencer par creuser et mettre en sécurité les parties supérieures des excavations, puis de poursuivre dans un deuxième temps par l'abatage des sections inférieures. Cette méthode d'excavation par sections partielles permet de stabiliser petit à petit la section finale, ce qu'il serait beaucoup plus difficile et moins sûr d'effectuer en une seule fois.

Une enveloppe en béton sera construite à l'intérieur de la caverne dans le prolongement du tunnel de base afin d'assurer l'homogénéité de la section de ce dernier et permettre ainsi le trafic aux vitesses de service prévues (fig. 8).

Zone du portail nord

À son extrémité Nord, le tunnel de base débouche juste sous l'autoroute A2 qui commence son ascension vers Rivera. Le portail Nord du tunnel est composé de deux éléments distincts réalisés en béton armé : son accès principal à deux voies sur le tracé de la ligne Alptransit (« portale di Vigana ») d'une part et un accès secondaire pour une voie unique qui assure la jonction avec la liaison Lugano-Bellinzona (« portale

bretella») d'autre part (fig. 9). L'aménagement de cette zone prévoit aussi l'excavation d'une caverne technique (caverne Est) ainsi que le creusement du tronçon pour la jonction entre le tunnel de base et le portail à voie simple.

L'achèvement de l'excavation des deux portails d'entrée et de la caverne de Vigana est prévu pour le printemps 2010 alors que l'ensemble des travaux dans la zone des portails devra être terminé trois ans plus tard.

Le raccord de la voie en plein air sur le tronçon nord du tunnel de base du Ceneri commence par le biais de deux tranchées ouvertes d'approche des portails en béton armé d'environ 40 mètres de long : l'une d'entre elles accueillera les deux voies du tunnel de base alors que l'autre verra passer le tracé à voie simple de la bretelle de jonction.

Passage sous l'autoroute A2

D'un point de vue géologique et géotechnique, le tunnel doit ensuite se frayer un passage dans le talus artificiel servant de support à la route nationale A2. Ce talus, d'une épaisseur totale de quelque 70 m, repose en aval sur les sédiments fluvio-glaciaires de la plaine de Magadino et en amont sur des dépôts de versant et sur la fraction altérée du paragneiss du Ceneri. La traversée des matériaux meubles et de la fraction altérée des paragneiss – qui porte sur une longueur totale d'environ 50 m – s'effectuera à l'aide d'une voûte en colonnes de *Jet-Grouting*. La caverne Est sera creusée dans la roche dure et son extrémité Nord sera connectée à la galerie passant sous l'A2. Elle est constituée d'un tube d'une section de 240 m² englobant les deux voies du tunnel de base, ces dernières étant séparées par une paroi verticale en béton (fig. 11).

La tranchée d'approche sera réalisée en deux phases successives. À l'instar de ce qui sera fait pour la CAOP à Sigirino, et afin de réduire les problèmes géotechniques lors du creusement du « portale di Vigana », on procédera ici aussi à un creusement par sections partielles.

- Phase 1 :

- (a) creusement à section partielle de la partie supérieure de la tranchée du portale di Vigana. Ce creusement doit permettre la mise en œuvre simultanée de deux niches latérales et d'effectuer les tests du système de *Jet-Grouting*, ces éléments – les niches et le *Jet-Grouting* – étant nécessaires pour le passage sous la A2 (voir ci-dessous) ;
- (b) creusement à section complète du « portale bretella ».

- Phase 2 :

- une fois le creusement de la calotte pour le passage du tunnel de base sous l'A2 terminé, on excavera la partie basse du portale di Vigana.

L'autoroute A2 sinuant sur les pentes du Monte Ceneri comprend deux doubles voies flanquées de voies d'urgences. Pour des raisons opérationnelles, le trafic sur cet axe ne peut être interrompu et la vitesse inférieure de transit ne peut être réduite à moins de 80 km/h. Une réduction du trafic à une voie par direction est toutefois envisageable en cas d'incident technique en cours d'excavation.

Le passage des voies de chemin de fer sous l'autoroute A2 implique de creuser dans des matériaux meubles, ceci sur une longueur de 40 m, avec une section pouvant atteindre environ 365 m² pour le raccordement de la caverne Est. Ce creusement sera réalisé en sections partielles en subdivisant la section en deux niches latérales, une zone de calotte et une zone de radier. Comme décrit précédemment, cette méthode permettra, entre autres avantages, de garantir la stabilité et donc de contrôler les tassements sur la plateforme routière sus-jacente durant toute la durée des excavations. Un système de monitoring est prévu pour renseigner en continu les responsables du chantier et les gestionnaires de l'autoroute de tassements éventuels.

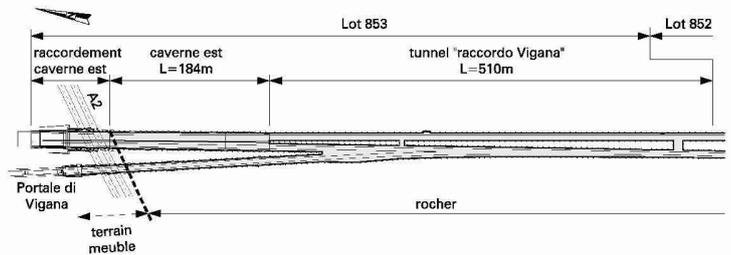
L'avancement s'effectuera selon des étapes d'une longueur de 12 m qui intégreront des opérations préventives de stabilisation, adaptables selon les types de terrain rencontrés (fig. 10):

- (A) excavation à section pleine de deux niches latérales (55 m² par niche) après pré-consolidation par le biais de colonnes *Jet-Grouting* subhorizontales d'une longueur de 18 m,
- (B) creusement de la calotte (145 m² de section), par étapes d'un mètre avec pré-soutènement du noyau et confinement de l'enveloppe à l'aide de colonnes *Jet-Grouting*,
- (C) excavation du radier préalablement pré-consolidé par des colonnes *Jet Grouting* réparties selon une trame régulière de 2x2 m (environ 110 m² de section y compris l'arc inversé).

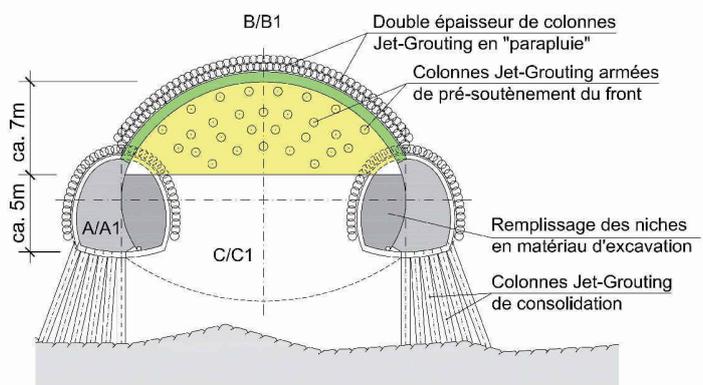
Par la suite, les mesures de consolidation et de sécurisation consisteront essentiellement en les éléments suivants :

- (A1) pose de poutres de consolidation et d'appui en béton armé disposées longitudinalement et servant d'appui à la voûte,
- (B1) pose d'un pré-anneau en béton projeté armé d'une épaisseur de 70 cm en voûte, par étapes d'un mètre,
- (C1) pose d'un pré-anneau en béton projeté armé d'une épaisseur de 70 cm à l'interface radier-arc inversé, par étapes de six mètres.

Le percement du raccordement sur la « bretella Lugano-Bellinzona » à voie unique sera également exécuté en ayant recours à la technique du *Jet-Grouting*. Cependant, les



9



10

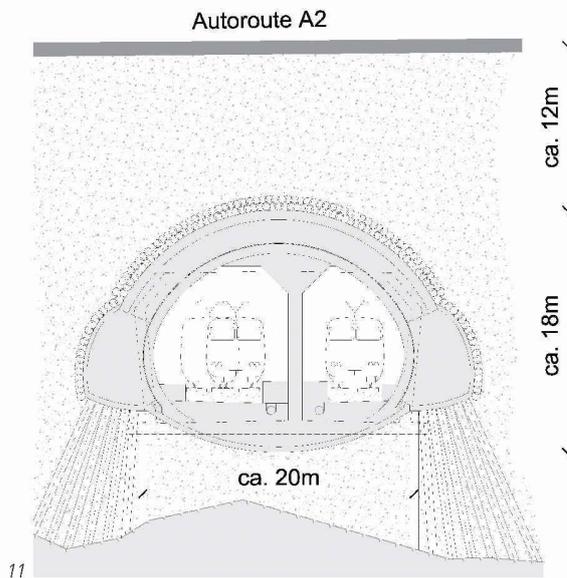
dimensions étant moindres (env. 67 à 87 m²), il sera possible d'effectuer un creusement à pleine section qui ne nécessitera pas la réalisation de niches latérales.

La suite de l'ouvrage, située dans le prolongement du portail Nord, devra être excavée dans des roches dures, après un court passage de 34 m dans des roches altérées. Il s'agira d'un système de cavernes interconnectées aux axes du tunnel de base et dont la section varie de 78 m² (pour la section standard du tube) à 270 m² (pour la plus grande section de la caverne). L'ouvrage traversera les gneiss du Ceneri en commençant par les ortho-gneiss à texture plutôt massive, pour se poursuivre dans les para-gneiss, moins massifs et généralement schisteux. Le creusement sera effectué à l'explosif en deux étapes (d'abord la calotte puis la partie inférieure) et la mise en sécurité s'effectuera à l'aide de cintres et de béton projeté.

Une belle aventure

Le tunnel de base du Ceneri a longtemps été l'objet d'incertitudes quand à la disponibilité de son financement. Aujourd'hui, les travaux ont pu commencer dans le respect des délais prévus et, tournant le dos à la phase préliminaire, le creusement des infrastructures d'accès à la galerie de base est entamé.

Fig. 11: Section finale du «raccordement caverne Est» sous l'autoroute A2.
(Tous les documents illustrant cet article ont été fournis par les auteurs.)



Cet ouvrage représente la suite et la conséquence indispensable de la gestion du trafic ferroviaire introduite par le nouvel axe du Saint-Gothard. Il permettra de gommer les contraintes liées à la traversée du massif alpin en nivelant ce nouvel axe sur le trafic de plaine. Bien que sa longueur ne représente qu'une fraction du tunnel de base du Gothard, le tunnel de base du Ceneri, d'un coût total de plus de 2 milliards de francs, se situera à la troisième place des ouvrages souterrains les plus importants de Suisse. Nous sommes heureux de pouvoir participer à cette belle aventure qui ne fait que commencer.

Olimpio Pini, ing. civil EPF, Capoprogetto
Pierre-François Erard, dr en géologie UNIL, géologue du chantier
Consorzio ITC, ITECSA - TOSCANO
Via Besso, CH – 6900 Lugano

Alberto Del Col, ing. civil EPF, chef de projet ATG
AlpTransit San Gottardo SA
Viale Stazione 32, CH – 6500 Bellinzona

Une élégante structure pour toitures à vélos.

velopa
swiss parking solutions



Un design intemporel: système BWA bausystem® pour abris deux-roues, voitures et personnes.

Votre partenaire aux services de qualité et solutions innovantes.

parquer ■ abriter ■ bloquer

Velopa AG, CH-8957 Spreitenbach
+ 41 (0)56 417 94 00, marketing@velopa.ch