

WOW!

Le magazine de la technique pour les jeunes

TechnoScope

1/16
by SATW

Tunnel de base du Saint-Gothard

Découvre tout ce que nécessite la construction d'un tunnel de 57 km à travers les Alpes.

www.satw.ch/technoscope

290 kilomètres de voies et 380 000 traverses ont été posés.

A l'endroit le plus profond, une couche de roche de 2500 mètres recouvre le tunnel.

En juillet 2009, un tunnelier a établi un nouveau record mondial dans le tronçon d'Erstfeld en progressant de 56 mètres en 24 heures

La longueur totale du système de tunnels, de puits et de galeries du tunnel de base atteint près de 152 km.

En novembre 2015, un train spécial a traversé le tunnel à 275 km/h.

Le coup d'envoi du tunnel de base du Saint-Gothard a été donné en 1999. La percée a été réalisée dans la galerie Est en octobre 2010, et, quelques mois plus tard, dans la galerie Ouest. Des tests ont lieu depuis octobre 2015. Le trafic ferroviaire régulier commencera avec le changement d'horaire de décembre 2016.

Impressum
SATW Technoscope 1/16, Mai 2016
www.satw.ch/technoscope
Concept et rédaction: Beatrice Huber
Collaboration rédactionnelle: Felix Würsten, Samuel Schläfli
Photos: AlpTransit, Fotolia, commission pour le delta de la Reuss
Abonnement gratuit et commandes supplémentaires
SATW, Gerbergasse 5, CH-8001 Zurich
technoscope@satw.ch, Tél: +41 (0)44 226 50 11
Le Technoscope 2/16 paraîtra en septembre 2016 sur le thème des «Nouvelles sources d'énergie»

SATW

Schweizerische Akademie der Technischen Wissenschaften
Académie suisse des sciences techniques
Accademia svizzera delle scienze tecniche
Swiss Academy of Engineering Sciences

B o d i o

E r s t f e l d

57 km

0 km

Une ligne de plaine à travers les Alpes

Le 1^{er} juin 2016, ce sera chose faite: après 17 ans de construction, le nouveau tunnel de base du Saint-Gothard sera officiellement inauguré. Avec une longueur de 57 kilomètres, il s'agit du plus long tunnel ferroviaire au monde. Sans l'engagement remarquable de nombreux ingénieurs et autres spécialistes, sa construction n'aurait pas été possible.

Une liaison ferroviaire rapide et performante avec des pentes minimales et d'amples virages sera assurée lors de l'inauguration du tunnel de base du Ceneri en 2020. Alors que les trains sur le tronçon actuel du Saint-Gothard doivent affronter de nombreuses boucles étroites jusqu'à une altitude de 1150 mètres, le point le plus élevé du nouveau tronçon se trouvera quant à lui à une altitude de 550 mètres. Le tunnel de base du Saint-Gothard permettra donc de traverser les Alpes avec une

ligne de plaine qui s'intégrera parfaitement au réseau européen de trains à grande vitesse.

Plus rapide et plus performant

Les avantages sont nombreux pour les voyageurs de l'axe nord-sud: le temps de trajet entre Zurich et Lugano sera écourté d'environ 45 minutes. Le nouveau tunnel ferroviaire sera tout aussi important pour le transport des marchandises: la nouvelle ligne ferroviaire pourra accueillir des trains plus longs et plus lourds que l'ancien tronçon. Alors que deux locomotives étaient nécessaires jusqu'alors sur la ligne de faite pour remorquer un train de marchandises de 1400 tonnes à travers les Alpes, une seule locomotive sera nécessaire désormais pour tirer un train de 2000 tonnes.



La mise en service du tunnel de base du Saint-Gothard est prévue pour décembre 2016.



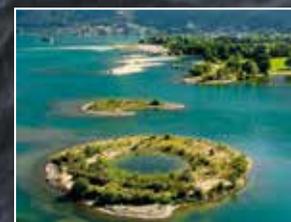
A m s t e g

Des matières premières fournies par la montagne

28 millions de tonnes de roches ont été extraites du Saint-Gothard par les mineurs, soit cinq fois le volume de la grande pyramide de Khéops en Égypte. Aux entrées du tunnel, les mineurs ont installé quatre gravières pour traiter les roches en continu. Celles-ci ont été broyées, puis tamisées, arrondies et réparties en fractions de différentes granulométries. 30 % ont servi de sable et de gravier pour préparer du béton dont une grande partie a été réutilisée dans le tunnel comme béton projeté ou éléments de béton massifs. Les déblais restants ont permis de renaturer des ruisseaux et rivières ou de combler d'anciennes gravières.



Massif de l'Ar



Les quelque 2,5 millions de tonnes de roches extraites du Saint-Gothard par les mineurs ont été déversées dans le lac d'Uri pour réhabiliter le paysage naturel du delta de la Reuss.

Découvre d'autres informations passionnantes sur le tunnel de base du Saint-Gothard sur www.satw.ch/technoscope



1 km 2 km 3 km 4 km 5 km 6 km 7 km 8 km 9 km 10 km 11 km 12 km 13 km 14 km 14 km 16 km 17 km 18 km 19 km

Sécurité

Les deux stations de secours situées en-dessous de Sedrun et Faido jouent un rôle capital dans la sécurité du tunnel. En cas d'urgence – par exemple un incendie – si le mécanicien de la locomotive ne peut plus sortir du tunnel, il a la possibilité d'arrêter le train vers l'une des stations de secours. En cas d'incendie, de l'air frais extérieur est soufflé dans le tunnel au moyen de grands ventilateurs. Parallèlement, les gaz de fumées sont aspirés au moyen de grandes cheminées d'évacuation. Les passagers peuvent alors quitter le train. En pareille situation, des équipes de sauvetage spécialement formées se

tiennent prêtes 24 heures sur 24 et arrivent sur place avec un train de secours en maximum 45 minutes. Il est préférable toutefois d'éviter tout cas d'urgence. C'est pourquoi des installations de détection ont été placées le long des lignes d'accès. Celles-ci détectent une surchauffe éventuelle d'un essieu sur un train ou si un wagon perd des marchandises inflammables. Le train est alors freiné avant son entrée dans le tunnel.

S e d r u n



*Massif du
Saint-Gothard*



Mensuration

A l'intérieur d'une montagne, il devient impossible de déterminer la position par GPS. Celle-ci doit être déterminée au moyen d'une mensuration complexe le long du tunnel. Pari gagné: au final, l'écart n'était que de huit centimètres à l'horizontale et d'un centimètre à la verticale. Comme points de départ, les géomètres ont pris des points de référence à chaque entrée de tunnel qu'ils avaient déterminés avec une très grande précision au moyen d'autres points de référence sur le terrain.

Géologie

Avant le début des travaux, personne ne savait avec certitude quelles roches les mineurs trouveraient sous terre. C'est pourquoi les géologues ont effectué un grand nombre de sondages et de mesures géophysiques. Cela a permis de savoir par exemple que le **synclinal de Piora**, un passage-clé redouté, pouvait être surmonté. Les mineurs ont dû toutefois faire face à certains problèmes. Le schiste facilement déformable et une zone contenant de la poudre de roche ont notamment occasionné des difficultés sur le flanc nord du tunnel. A certains endroits critiques, les mineurs ont dû étendre quelque peu les excavations du tunnel, permettant ainsi de dilater la roche tendre sans avoir à trop rétrécir le tunnel. Sur le flanc sud, une grande quantité d'eau imprévue a surgi de la roche à certains endroits.

Du gros œuvre au tunnel fini

La première étape consistait à excaver les deux tubes du tunnel. Ensuite, il a fallu élargir ces tunnels pour achever l'ouvrage. Les tubes du tunnel ont d'abord été sécurisés – en partie avec un arc en acier – puis une couche en béton massif d'une épaisseur de 30 centimètres a été apposée contre la paroi. Une semelle fixe a été intégrée dans les tubes en béton circulaires, ainsi que deux accotements légèrement surélevés des deux côtés. Des voies et des traverses ont été posées au millimètre près à l'aide d'un train spécial, puis scellées dans une voie fixe. Ensuite, une caténaire spécialement conçue, convenant aussi bien aux trains de marchandises lourds qu'aux trains de voyageurs à grande vitesse, a été mise en place. Enfin, les installations pour la commande du train, la communication, l'éclairage, l'alimentation électrique et la ventilation ont été mises en place, achevant la construction du tunnel.

A partir de ces points de départ, ils ont mesuré ensuite le parcours du tunnel pendant la construction. Si l'on additionne toutes les mesures de direction, de distance et de hauteur, les géomètres ont enregistré près de 100 000 valeurs de référence au fil des années. Le mesurage dans la section de Sedrun s'est avéré particulièrement exigeant. En effet, les travaux de construction sur le tunnel principal ont débuté dans un endroit insolite: au pied d'un puits de 800 mètres de profondeur.



Un tunnelier de 400 mètres de long

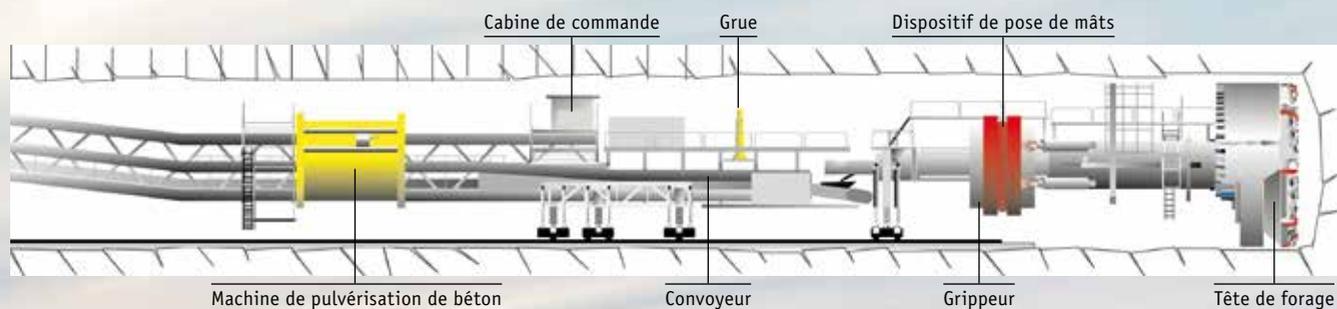
Les tunnels sont excavés de manière «conventionnelle» ou «mécanique». La manière «conventionnelle» recourt généralement aux explosifs. Encore aujourd'hui, ceux-ci sont utilisés dans les galeries courtes de quelques kilomètres et lorsque les roches sont particulièrement dures. L'avancement mécanique avec des tunneliers est bien plus conséquent. Dans le tunnel de base du Saint-Gothard, quatre tunneliers ont permis si-

multanément d'excaver près de 75% de l'ensemble des galeries. Les machines – appelées «Sissi», «Heidi» et «Gabi» (I et II) – mesuraient plus de 400 mètres, pesaient jusqu'à 2700 tonnes et étaient propulsées par dix moteurs de chacun 350 kW (au total 4700 PS). La pièce principale du tunnelier est la tête de forage, une grande roue en métal. Dans le tunnel de base du Saint-Gothard, son diamètre était de 9,58 mètres. Des molettes

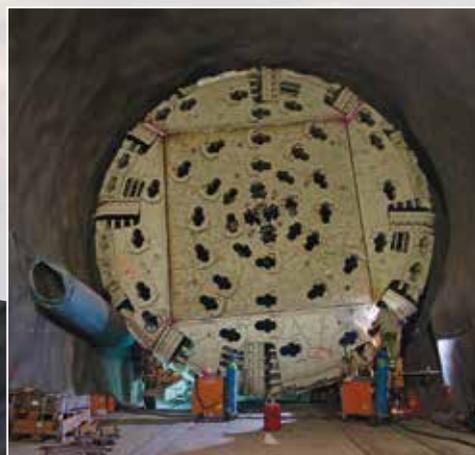
de coupe – soit des rouleaux mobiles avec éléments de coupe – ont été installées sur cette roue, qui tournent et sont pressées contre la roche. «Sissi» a par exemple pressé 66 molettes d'un poids allant jusqu'à 26 tonnes sur le rocher. La roche extraite a été recueillie au moyen d'une roue à aubes à l'arrière de la tête de forage, puis déversée sur un convoyeur et évacuée hors du tunnel.

Gestion technique

Le tunnel complet est contrôlé par la station de contrôle de Polleggio. Celle-ci surveille tous les mouvements des trains et indique aux mécaniciens du train la vitesse à laquelle ils peuvent circuler. Il n'y a pas de signaux classiques à l'intérieur du tunnel. Les commandes sont directement transmises à la cabine de la locomotive à l'aide du nouveau système de contrôle (ETCS). Les mouvements des trains dans le tunnel sont enregistrés au moyen de balises. Lorsqu'un train passe sur une balise, celle-ci envoie un signal correspondant à la station de contrôle. Toutes les installations électriques et électromécaniques, comme la ventilation, l'éclairage, les systèmes de radio et de téléphonie, ainsi que les portes du tunnel, sont surveillées et en partie commandées à distance depuis la station de contrôle. Le tunnel du Saint-Gothard est équipé d'un système radio sophistiqué qui permet aux passagers d'utiliser leur smartphone dans le tunnel.



F a i d o



La tête de forage est la pièce principale du tunnelier. Dans le tunnel de base du Saint-Gothard, celle-ci avait un diamètre de 9,58 mètres.



Une technique de pointe: toutes les commandes sont directement transmises à la cabine de la locomotive.



Le système radio doit fonctionner: tests effectués avec la voiture de mesure des CFF.

Z o n e d e g n e i s s p e n n i n i q u e



0 km 39 km 40 km 41 km 42 km 43 km 44 km 45 km 46 km 47 km 48 km 49 km 50 km 51 km 52 km 53 km 54 km 55 km 56 km



▲ Après l'inauguration en juin, les CFF devront démontrer lors d'une phase d'essai que le tunnel remplit toutes les exigences requises pour obtenir l'autorisation d'exploitation. Si tel est le cas, l'exploitation commerciale débutera en décembre 2016.

► Marc Manetsch a suivi des études en génie mécanique ainsi qu'une formation complémentaire en management. Il est aujourd'hui chef de projet général aux CFF.

«Le projet du Saint-Gothard est une source de motivation incroyable»

Marc Manetsch est chef de projet général aux CFF. Il est responsable du bon raccordement du tunnel de base du Saint-Gothard au réseau ferroviaire suisse. L'inauguration du tunnel le 1^{er} juin sera donc pour lui une journée tout à fait particulière.

Cela fait deux ans et demi que je suis chef de projet général aux CFF et responsable des aménagements ferroviaires devant le portail nord du tunnel de base du Saint-Gothard. Nous ne construisons pas le tunnel, c'est notre filiale «Alptransit Gotthard SA» qui s'en charge. En revanche, les CFF sont responsables de son exploitation. Je me situe à l'interface entre les deux entreprises et veille à ce que nous parlions tous le même langage. De plus, je coordonne les délais et contrôle les coûts ainsi que la qualité des travaux. Pour cela, je rencontre régulièrement les responsables des projets partiels, par exemple en matière de génie civil, de chaussées ou de caténaires. Ce sont des experts dans leur domaine qui connaissent les détails techniques de leur travail bien mieux que moi. Mais lorsque des problèmes ou des changements surviennent dans un domaine, c'est à moi qu'il incombe d'adapter tous les autres délais et travaux en conséquence.

Par exemple, le système de contrôle moderne ETCS L2 constitue aujourd'hui un défi. Les signaux - par exemple une lumière rouge ou verte

- ne sont plus indiqués le long de la ligne ferroviaire, mais sont directement transmis par radio au mécanicien du train dans la cabine. Il s'agit d'une avancée technologique qui requiert une très grande coordination des personnes impliquées afin de garantir une sécurité optimale. Autre exemple: lorsque nous intégrons un nouvel aiguillage dans notre réseau et que celui-ci provoque des perturbations, la première réaction est la suivante: «Manetsch, fais en sorte que cela fonctionne.» Alors je rencontre les experts et nous discutons de la manière de résoudre le problème au plus vite. Dans ces situations, il n'est pas rare de faire des heures supplémentaires.

Séparer ce qui est important de ce qui ne l'est pas

Même si je suis titulaire d'un diplôme en génie mécanique, je m'occupe essentiellement des tâches de gestion aux CFF. Malgré tout, mes études m'aident encore aujourd'hui à séparer ce qui est important de ce qui ne l'est pas, à trouver rapidement des solutions aux problèmes techniques et à poser les bonnes questions aux spécialistes. La

technique et les machines m'ont fasciné dès mon plus jeune âge. Petit, j'assemblais souvent des maquettes d'avions. Je voulais absolument comprendre comment cela fonctionnait. Par après, au gymnase, j'étais surtout passionné par les mathématiques et la physique. Mais l'événement déterminant pour le choix de mes études s'est déroulé deux ans avant la fin du gymnase lorsqu'un étudiant en génie mécanique de l'ETH nous a rendu visite pour nous parler de ses études. J'ai su alors ce que je voulais faire! Toutefois, à l'ETH, j'ai vite compris que je ne voulais pas devenir un ingénieur classique. Alors que mes collègues préféraient la recherche et les calculs détaillés complexes, j'étais davantage intéressé par les grandes corrélations. C'est la raison pour laquelle j'ai envisagé de m'orienter dans le domaine économique après la seconde année d'étude et que je me suis spécialisé dans l'utilisation durable de l'énergie.

Formation complémentaire en management

Après mes études, j'ai trouvé un premier emploi de longue durée chez AAE, une entreprise ferroviaire suisse comptant une flotte de 30 000 wagons. Pendant quatre ans, en qualité d'ingénieur classique, j'ai été responsable de l'entretien et de la révision des wagons. Par exemple, nous avons testé sur des prototypes la fréquence à laquelle nous devons

entretenir les wagons pour qu'ils restent fonctionnels le plus longtemps possible. Après quatre années, j'ai entamé une formation complémentaire, un «Master of Advanced Studies» (MAS) en management, technologie et économie, à l'ETH Zurich. J'ai travaillé à 60 pour cent à Baar et suivi des cours deux jours par semaine à Zurich. A la fin de mes études, un poste en management correspondant parfaitement à mon profil s'est libéré chez AAE. Après quatre années supplémentaires dans cette entreprise, j'ai ressenti l'envie de relever un nouveau défi. Je suis alors tombé sur l'annonce concernant mon poste actuel aux CFF et je me suis dit: c'est parfait! J'ai été d'autant plus heureux d'apprendre après mon entrée en fonction que j'allais participer au projet du Saint-Gothard. Le tunnel de base du Saint-Gothard est le plus long tunnel au monde - c'est un superlatif! Les nombreux défis et tâches sont totalement nouveaux. J'ai trouvé cela particulièrement motivant! C'est pourquoi l'inauguration du tunnel cet été sera pour moi un moment tout particulier. Jusque-là, nous travaillerons encore d'arrache-pied pour que nos trains puissent effectivement traverser le tunnel le 1^{er} juin.

AHA!



Choix d'études et de carrière

Luise Franke, conseillère d'orientation scolaire et professionnelle au centre OSP d'Oerlikon ZH



Chère Madame Franke,

Je suis en 2^e année secondaire et devrai bientôt choisir une profession. Les articles sur le tunnel de base du Saint-Gothard m'ont intéressé. Quelles sont les possibilités de carrière en tant que constructeur de tunnel? (Cédric, 15 ans)

Cher Cédric,

Le mineur est le constructeur de tunnel qui se trouve directement au front. Au sein d'une équipe parfaitement rodée et avec diverses machines de construction, il creuse mètre par mètre la montagne. C'est pourquoi les mineurs sont également appelés machinistes. Il n'existe pas de formation officielle pour devenir mineur. La plupart d'entre eux ont effectué un apprentissage dans le secteur de la construction, puis ils ont suivi une formation en entreprise. Il est possible ensuite de suivre une formation continue pour devenir artificier ou conducteur de travaux.

Avant que les mineurs ne puissent commencer à creuser, les ingénieurs sont tributaires des travaux préparatoires des géologues et d'une centaine de géomaticiens. Ceux-ci sont de véritables

artistes de la précision. Ils effectuent des prélèvements de terre qu'ils analysent ensuite par ordinateur. Il n'est pas question ici de main-d'œuvre, mais d'un travail au millimètre près. Les géomaticiens spécialisés en mensuration passent près de la moitié de leur temps de travail sur le chantier. En revanche, celui qui choisit de se spécialiser en géoinformatique travaillera essentiellement sur ordinateur. Les données collectées sont analysées et modélisées par exemple en cartes 3D, comme celles que l'on trouve sur Googlemaps.

L'apprentissage de géomaticien dure 4 ans. Tu peux ensuite te spécialiser pour devenir technicien en géomatique. Avec la maturité professionnelle, tu peux également choisir un cursus similaire dans une haute école spécialisée, par exemple en géomatique, en aménagement du territoire ou en génie civil. Les écoles polytechniques de Suisse, l'ETH à Zurich et l'EPFL à Lausanne, proposent une grande variété de cursus techniques aux titulaires d'une maturité professionnelle avec examen passerelle, ainsi qu'aux titulaires d'un baccalauréat.

Comment le climat est-il régulé dans le tunnel?

Avec deux galeries de 57 kilomètres, le tunnel de base du Saint-Gothard n'est pas seulement le plus long tunnel ferroviaire au monde, c'est également le plus profond. A certains endroits, la couche de roche entre le tunnel et la surface de la terre dépasse 2000 mètres. L'air en dessous n'est-il pas vicié et la température étouffante? Comment créer un climat supportable dans un tel tunnel – pour les ouvriers qui entretiennent le tunnel, mais également pour les passagers des trains en cas d'arrêt d'urgence? Etonnamment, aucune ventilation active n'est requise en cours d'exploitation normale. Cela est dû à l'«effet piston» des trains: lorsque ceux-ci traversent le tunnel à 200 km/h, ils génèrent dans leur sillage une quantité suffisante d'air pour ventiler le tunnel. A l'avenir, jusqu'à 260 trains de marchandises et 65 trains de voyageurs traverseront le tunnel chaque jour – celui-ci sera donc régulièrement «ventilé».

Malgré tout, deux centrales de ventilation ont été installées dans le tunnel de base du Saint-Gothard.

Celles-ci permettent de réguler la température, la vitesse de circulation de l'air et les variations de pression, et d'actionner 24 ventilateurs. En cas d'incendie dans le tunnel, un système de ventilation aspire automatiquement la fumée et insuffle de l'air frais. De plus, la ventilation permet de créer le climat de travail requis pour effectuer des travaux d'entretien. La température dans le tunnel dépend notamment de la température de la roche, de la température d'entrée du train, de la chaleur dégagée par les installations techniques ainsi que de la température de l'eau de montagne. Lors des travaux de construction, en l'absence de ventilation, les températures auraient atteint 50°C à certains endroits de la montagne. Les grands ventilateurs et les installations frigorifiques ont permis de refroidir la température maximale autorisée sur le lieu de travail à 28°C. En cours d'exploitation, la température du tunnel devrait atteindre 37°C en été et 35°C en hiver. Un climat d'exploitation optimal est aussi capital pour la durée de vie des installations techniques dans le tunnel.

Infos & liens

Login est le partenaire actif dans toute la Suisse pour la formation professionnelle dans le monde des transports. Sur www.login.org, tu peux par exemple trouver les postes vacants aux CFF et tu peux même postuler en ligne.

Sur www.orientation.ch, tu peux trouver des informations sur tous les métiers et filières de formation.