

Informations actuelles sur les routes en béton
et l'infrastructure routière | Édition janvier 2017

update 47

La voie sur dalle du tunnel de base du Saint-Gothard, le plus long tunnel ferroviaire au monde

Les entreprises exécutantes ont relevé un immense défi en termes de mise en œuvre, d'assurance qualité et de sécurité au travail afin de satisfaire les exigences contractuelles strictes imposées à la voie sur dalle et de résoudre les contraintes logistiques particulières liées aux 57 km de long du tunnel ferroviaire aujourd'hui le plus long au monde. Grâce à un partenariat pragmatique et à une collaboration constructive avec des fournisseurs et sous-traitants suisses compétents, l'objectif « Construction d'une voie de qualité supérieure » a été réalisé et l'ouvrage livré dans les délais.

La voie sur dalle du tunnel de base du Saint-Gothard, le plus long tunnel ferroviaire au monde

Concernant l'auteur

Detlef Obieray, ing. dipl. (univ.), EURAILING, Grunder Ingenieure AG, Berthoud (BE) – responsable de projet jusqu'au 30 septembre 2016 au sein du consortium pour la technique ferroviaire ARGE FahrbahnTranstec Gotthard.

Avant de collaborer au projet du Saint-Gothard, Monsieur Obieray a consacré deux années, en Chine, au transfert de savoir-faire en construction des voies sur dalle du système Rheda 2000 pour l'entreprise RailOne. Il a auparavant participé durant trois ans à la construction, aux Pays-Bas, de la ligne à grande vitesse reliant Amsterdam à la frontière belge (Hogesnelheidslijn Zuid [HSL Zuid]). Depuis le 1^{er} octobre 2016, Monsieur Obieray est membre du comité directeur de Grunder Ingenieure AG et responsable du domaine Conseil en management et développement de projets.



Detlef Obieray

1 La situation de départ

La communauté de travail Transtec Gotthard (TTG) a été chargée par Alptransit Gotthard AG (ATG), maître d'ouvrage de la NLFA Axe Saint-Gothard, de planifier, d'installer et de mettre en service la technique ferroviaire dans le tunnel de base du Gotthard (TBG). Contrairement à la construction du gros œuvre, le maître d'ouvrage a confié au mandataire une mission d'entreprise générale. Lors de la soumission, le contrat global portait sur un montant d'environ 1,7 milliard de CHF et comprenait l'équipement complet du tunnel doté de la technique ferroviaire : construction de la voie, mise en place de l'alimentation électrique de 50 Hz, du câblage, de l'alimentation en courant de traction de 16,7 Hz, des installations de télécommunication pour le réseau fixe et la radio et installations de sécurité selon le standard ETCS niveau 2 (European Train Control Standard).

Consortium constitué des sociétés ALPIQ, Alcatel-Lucent, Thales, Balfour Beatty Rail et HEITKAMP Construction Swiss et chargé du projet, Transtec Gotthard a coordonné et intégré les compétences spécialisées hétérogènes de différents corps de métier, nécessaires à la réalisation du mandat global. En interne, les travaux ont été exécutés au titre de prestations de sous-traitants sur la base de contrats d'entreprise.

Concernant la planification, la mise en œuvre et la mise en service de la voie sur dalle dans le tunnel de base du Gotthard, ARGE Fahrbahn Transtec Gotthard (la communauté de travail Transtec Gotthard pour la voie sur dalle), réunissant Balfour Beatty Rail et HEITKAMP Construction Swiss, était responsable d'un contrat dit « Back to back ». Sous-traitante désignée de TTG, la société Grunder Ingenieure AG a assumé la responsabilité générale de la coordination et la réalisation de tous les travaux de mensuration à l'intérieur du tunnel et sur les voies d'accès à bâtir pour tous les corps de métier concernés.

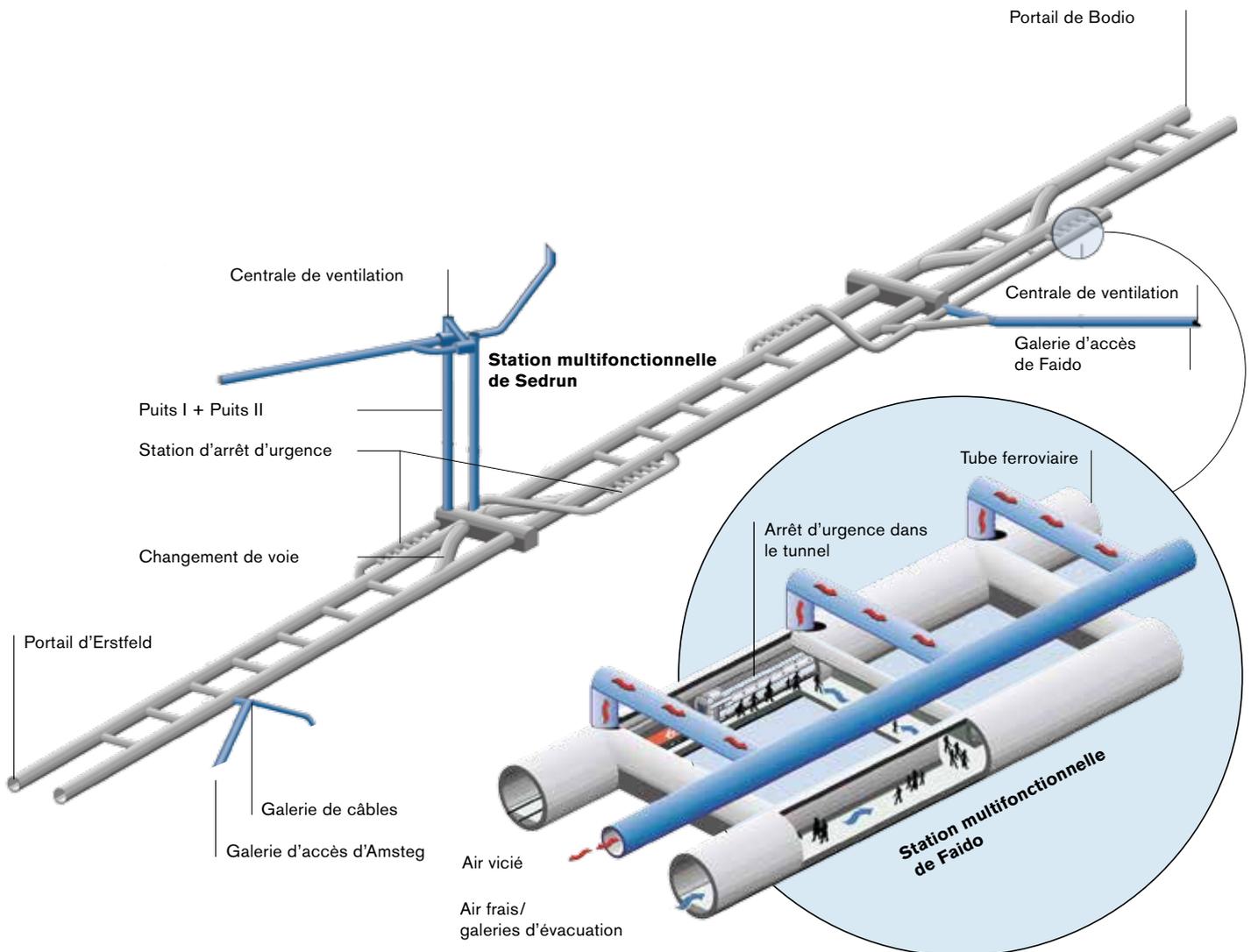


Illustration 1 : schéma du système du tunnel TBG avec stations d'arrêt d'urgence et ventilation © AlpTransit Gotthard AG

Le mandat de construction de la voie comprenait la planification, la livraison, la construction et la mise en service de

- 115 km de voie sur dalle dans les deux tubes du TBG de 57 km chacun (ill. 1) ainsi que de leurs liaisons transversales dans les stations multifonctionnelles (SMF).
- 2 éventuelles futures aiguilles de 12 000 en vue d'une extension possible du TBG dans le tronçon nord pour contourner Altdorf. Les sets de traverse pour chaque aiguille de déviation ont déjà été installés pour la voie sur dalle.

- 8 aiguilles de 1600 dotées d'un cœur à pointe mobile servant d'aiguillage de la voie sur dalle dans les deux SMF.
- 4 structures de transition de la voie sur dalle à la voie avec ballast dans les zones des portails.

Au total 131 000 m³ de béton, 380 000 blochets LVT du système Sonneville (LVT = Low Vibration Track = système de blochets reposant dans un chausson en caoutchouc) et 230 km de rails ont été nécessaires à la construction de la voie sur dalle dans le tunnel.

2 Voie sur dalle : les mêmes exigences que pour une horloge suisse

2.1 La voie ferrée

Extrêmement strict, le catalogue d'exigences de la voie sur dalle dans le TBG a été encore renforcé par rapport à certains projets allemands comparables ou, par exemple, par rapport au tunnel suisse du Lötschberg. Les défis posés par la construction de la voie touchent à des tolérances dimensionnelles, presque comparables à un mécanisme d'horlogerie suisse : géométrie de la voie (par rapport à une base mobile de 5000 m avec espacements des points de mesure de 0,5 m)

- Écartement des rails : 1435 mm, tolérance : de $-0,5$ mm à $1,5$ mm avec valeur moyenne standard $MS \leq 0,5$ mm
- Écart admissible de la géométrie absolue et de la hauteur par rapport à la valeur moyenne : $\pm 0,5$ mm, $MS : 1$ mm
- Écart admissible de dévers par rapport à la valeur moyenne : $\pm 0,3$ mm
- Gauche de voie $N_{\max} = 0,05\%$ par rapport à une base de mesure de 1 m
- Inclinaison du rail UIC60 E1 1:40, tolérance 1:35 à 1:45, soit un déport de $1,27^\circ$ à $1,63^\circ$
- Précision intérieure : erreur de flèche mesurée au point central d'une corde de 5 m < 2 mm
- Compression élastique de la voie pour une rigidité prévue de $CG = 80,6$ kN/mm, à une vitesse d'essai de $V_{\text{test}} \leq 15$ km/h : 1 à 1,5 mm

Pour le fonctionnement futur de cette transversale ferroviaire européenne, les exigences s'alignent d'ores et déjà totalement sur la norme européenne établie pour les systèmes ferroviaires à grande vitesse (TSI-HGV = standard technique d'infrastructure pour le trafic ferroviaire à grande vitesse). Les vitesses de conception de la ligne ont été fixées à 120-160 km/h pour les trains de marchandises, à 200 km/h pour les trains de voyageurs et à 230-250 km/h pour le trafic ferroviaire à grande vitesse. Conformément à UIC700V E4, la catégorie de ligne a déjà été définie pour de futures charges par essieu pouvant aller jusqu'à 250 kN. La



Illustration 2 : voie sur dalle de béton achevée dans le tronçon Faido-Bodio ouest © TTG

sollicitation quotidienne établie est de 480 000 TJB par sens de circulation (taux d'utilisation à 100%). Dans le même temps, la voie sur dalle doit garantir une durée de vie supérieure à 50 ans.

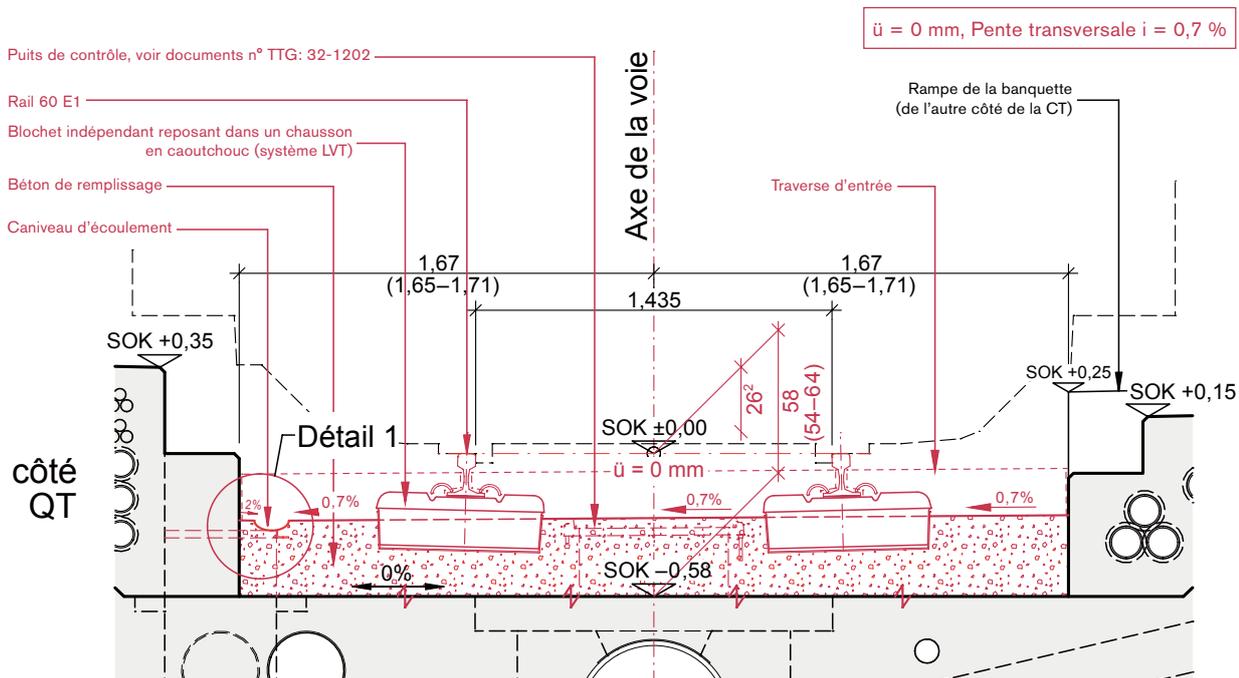


Illustration 3 : profil normal de la voie sur dalle dans le TBG © AlpTransit Gotthard AG

2.2 Le béton de remplissage

Les critères spécifiques du projet en matière de construction en béton sont tout aussi rigoureux. Le béton de remplissage de la voie sur dalle doit satisfaire aux exigences minimales suivantes :

- Résistance à la compression minimale $\geq C25/30$
- Résistance à la traction par flexion $f_{cbz,m}$
 $m \geq 5,5 \text{ N/mm}^2$
- Classes d'exposition : XC3, XF3, XD3 (conf. à la norme suisse)
- Dimension nominale des granulats : 16 mm
- Classe de teneur en chlorures : Cl 0,20
- Cure selon SN 505 262
- Joints de fissuration contrôlée à intervalles de 4,20 m
- Ciment et acier de construction selon SN 505 262 et 505 262/1

Les contraintes suivantes s'appliquent pour la formulation du béton de type C25/30 prescrit pour les classes d'exposition XC3/XD3 :

- E/C_{equ} max. = 0,45 (tolérance +0,02)
- C_{equ} min. = 344 kg/m³
- Teneur en eau efficace de 168 l/m³ pour une absorption d'eau par les granulats de 13,2 l/m³

En plus des exigences liées à la seule technologie du béton, les conditions logistiques particulières du TBG ont également joué un rôle déterminant pour la mise en œuvre de la voie sur dalle. Le béton de remplissage devait posséder une bonne ouvrabilité (consistance, plasticité) afin de respecter la vitesse de pose de quelque 200 m par jour fixée par contrat. Il a fallu tenir compte avant tout de la hauteur du coulis relativement importante sous le chausson de traverse de 18 cm, et éviter notamment la ségrégation des granulats lors de la pose liquide tout en maintenant un rendement élevé. On a veillé en particulier à éliminer le plus possible les bulles d'air de la sous-couche de béton coulée sous la semelle du chausson en caoutchouc synthétique (SBR) afin de garantir une bonne surface d'appui du blochet en béton.

2.3 Le projet de technologie du béton

Les exigences complexes liées à la technologie du béton et à la longévité de tout le système de la voie sur dalle ainsi que les objectifs de standards de qualité élevés ont conduit ARGE Fahrbahn à mettre sur pied son propre projet de technologie du béton. Reproduisant et encadrant la fabrication complète du béton pour la voie et sa poursuite pendant toute la durée des travaux, le projet a englobé, dans la galerie d'essais d'Hagerbach, toutes les phases de conception, de l'ingénierie et de la formulation du béton aux innombrables séries d'essais sur l'ouvrabilité du matériau, sans oublier la sélection des granulats, du ciment, etc. Il a par ailleurs intégré l'expertise et le suivi de la mise en œuvre concernant le développement et l'adaptation de la formulation du béton pour des cas particuliers – p. ex. les aiguilles dans les stations multifonctionnelles – ainsi que l'aide à la surveillance et au contrôle permanents de la qualité, l'organisation de tests de longue durée nécessaires pour attester la durabilité (p. ex. certificat de résistance aux sulfates contenus dans les eaux de montagne agressives [ill. 5], certificats de résistance des matériaux à la traction, à la rupture et à la flexion, etc.). Ce programme a bénéficié du soutien du laboratoire de béton accrédité VSH Hagerbach, d'une collaboration très fructueuse et novatrice des fournisseurs de granulats et de liants, de Holcim (Suisse) SA (ill. 4) et de Mapei Suisse SA pour les adjuvants du béton.

La mise en place d'un projet durable de technologie de béton et de son suivi par un laboratoire d'essais indépendant est, sous cette forme, une première en matière de construction d'une voie sur dalle. Elle souligne l'importance particulière et l'exigence de qualité élevée du projet ferroviaire dont l'objectif était de construire une voie sur dalle qui dure au moins 50 à 60 ans.



Illustration 4 : gravière de la société Holcim (Suisse) AG, Hüntwangen © Holcim (Suisse) AG



3 Les contraintes logistiques

Les contraintes logistiques, qui ont largement déterminé la marge de manœuvre dans ce projet ferroviaire, ont constitué un enjeu de taille pour la mise en œuvre de la voie sur dalle. Le chantier ne pouvait avoir lieu que dans un seul tube, qui accueillait à la fois les travaux et toute la logistique. Les distances à parcourir pour transporter matériel et personnel étaient importantes, l'accessibilité au chantier très limitée et possible que d'un côté depuis l'un des portails. Il n'y avait donc pas d'autre option que de réaliser l'ensemble des travaux de pose en tête de voie. En l'absence de galerie latérale aménagée en parallèle, la section de voie définitivement achevée a servi en même temps de voie logistique pour tous les travaux de construction et opérations de transport consécutifs. Afin de mettre tout en œuvre pour respecter le calendrier de mise en œuvre de la technique ferroviaire, les autres corps de métier ont dû s'insérer les uns après les autres dans le processus de construction en série dès que le tracé de la voie était carrossable. Impossible dès lors d'accéder librement à la tête du chantier de la voie sur dalle. L'acheminement du matériel, des appareils et des pièces détachées vers la tête de montage et à partir de celle-ci n'était possible qu'à certaines heures de la journée, par exemple lors de la relève des équipes.

4 Le processus de mise en œuvre de la voie sur dalle

Le processus de mise en œuvre a été standardisé avec un haut degré de mécanisation en tenant compte des conditions logistiques particulières citées plus haut et des exigences élevées quant à la qualité du produit « voie sur dalle dans le TBG », mais aussi de la « traçabilité totale » imposée par le contrat d'entreprise pour chaque composante intégrée à tout moment et en tout point du chantier. Les différentes étapes du processus ont été similaires à celles d'une production industrielle rythmée par des activités récurrentes, par l'utilisation bien définie du matériel et par une approche planifiée des prestations et du personnel. Afin de répondre aux conditions particulières de montage, il a fallu concevoir des machines qui, comme dans un cycle d'autoproduction, affichent les mêmes fonctionnalités et la même précision que les robots industriels. Les partenaires du projet ont ainsi établi un processus de production au standard quasi industriel.

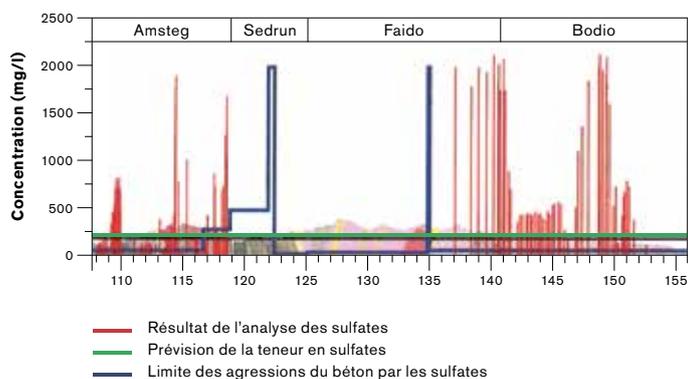


Illustration 5 : teneur en sulfates des eaux de montagne

© AlpTransit Gotthard AG

Coupe longitudinale A-A

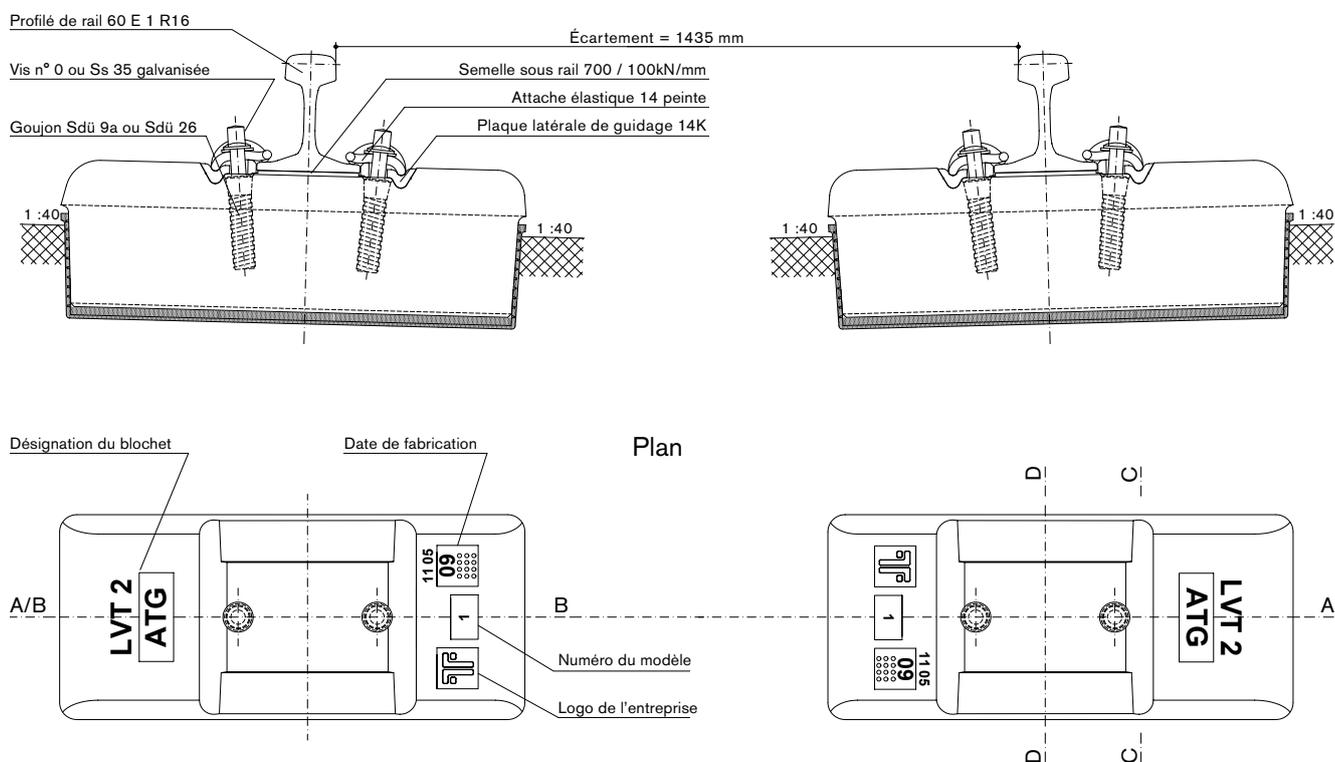
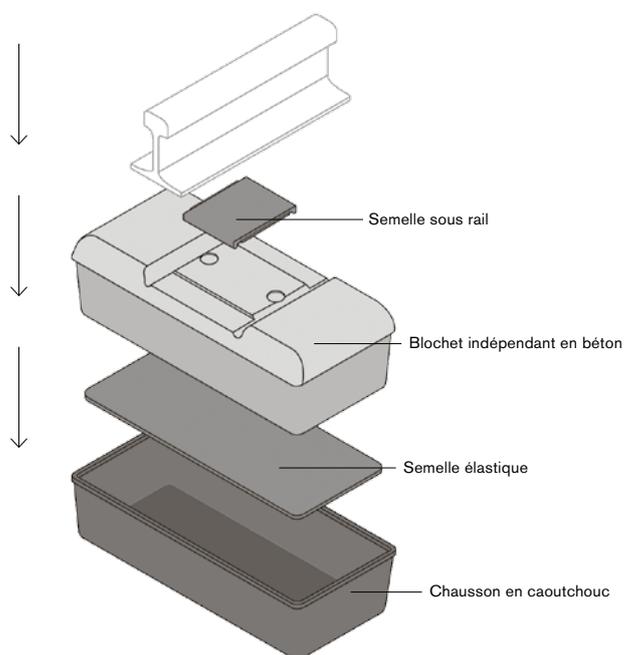


Illustration 6 : système de blochets LVT (Low Vibration Track) de Sonneville © Vigier Rail AG

La pose de la voie sur dalle a été décomposée en 21 séquences de travail, articulée suivant le principe du « bottom up » et exécutée comme suit :

- Pose des paires de rails de 120 m de long chacune, soudage en bout par étincelage des voies et construction d'une voie auxiliaire
- Installation et dépose des blochets LVT (ill. 6), installation et dépose du reste du matériel et des appareils auxiliaires destinés à la mise en œuvre de la voie sur dalle à des emplacements de stockage déterminés au mètre près (p. ex. châssis de puits, couvercles, cages d'armature, systèmes de soutènement, profilés inducteurs de fissures, etc.)
- Construction, montage et surélévation de la structure de voie
- Ripage de la structure de voie
- Montage des coffrages de puits, comprenant châssis, armature au niveau du puits, mise en place des profilés inducteurs de fissures, coffrage des caniveaux d'écoulement, etc.
- Rectification de la structure de voie
- Mise en place du béton
- Cure
- Achèvement (montage des traverses de retenue, couvercles des puits, etc.)

Pour chacune des 21 étapes de travail définies, les équipes ont reçu des instructions de travail détaillées qui fournissaient des indications claires sur les tâches à effectuer, l'utilisation de matériel, les moyens auxiliaires et les machines, définissaient les exigences de qualité et comportaient également des consignes sur la sécurité au travail et les mesures de protection. Afin de maintenir le rendement nécessaire à chaque étape, des objectifs opérationnels clairs ont été formulés et harmonisés pour maintenir une cadence régulière. L'objectif déclaré était de produire 2160 mètres de voie sur dalle, du radier brut du tunnel aux rails nettoyés et praticables, et ce, en un cycle de 20 jours.



5 Construction de la voie

Les rails longs comme les blochets LVT ont été acheminés « just in time » par rail depuis le site du fournisseur jusqu'au chantier du tunnel, sans autre opération de manutention de matériel. Afin d'assurer la chaîne logistique continue des blochets LVT depuis le lieu de production du fabricant jusqu'à la tête du montage dans le tunnel, un système spécial de transport, réutilisable, a été mis au point en collaboration avec l'entreprise de construction de voies ferrées Scheuchzer SA (Bussigny) et le fournisseur de traverses, Vigier Rail AG (Monsmier). Une innovation qui a apporté de gros avantages en termes de qualité de fourniture, de protection de l'environnement et de sécurité au travail.

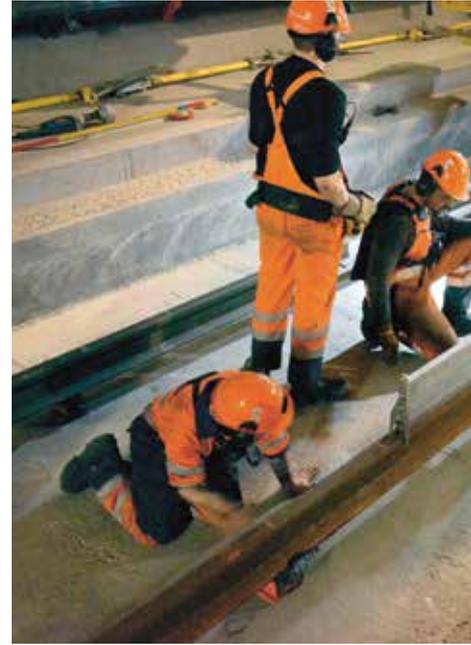
Un groupe de machines formé de trois unités (robots constructeurs de voie ferrée) a été conçu pour installer la structure de voie et obtenir la précision de positionnement requise. Il a permis de surélever les rails de la voie auxiliaire et les maintenir avec précision à leur écartement, puis de procéder au montage mécanisé des blochets et, pour finir, de positionner la ligne rails-traverses à l'inclinaison requise de 1:40 et de la stabiliser. L'installation du système de soutènement ultra précis a assuré le réglage de l'écartement et l'inclinaison de la voie en surélévation pour obtenir d'emblée sa position définitive au millimètre près.

Cette installation a été suivie de la mise en place des éléments constructifs de la dalle comme les puits de contrôle et d'évacuation, le drainage de surface, etc., et de la mise en place, à intervalles de 4,20 m, des inducteurs profilés pour la formation ciblée de fissures (joints de fissuration contrôlée) dans le béton de remplissage.

À l'issue de tous ces travaux préparatoires sur la voie, les équipes ont procédé à un réglage fin de la structure de voie à la tolérance requise au dixième de millimètre près en recourant à une méthode de mesure au laser (plaque de mire). La voie était alors fin prête pour la mise en place du béton.



7



8



9



10

Illustration 7 : déchargement des rails
Illustration 8 : alignement des rails avant le soudage
Illustration 9 : soudage des rails en bout par étincelage
Illustration 10 : les machines de construction de voies ferrées
© AFTTG



Illustration 11 : les wagons du train de bétonnage transportant les agrégats © AFTTG

6 Mise en place du béton

La pièce maîtresse de la mise en place du béton s'est avérée être le train de bétonnage. Centrale à béton circulant sur rails, il a transporté dans le tunnel les adjuvants prémélangés de granulométrie 1-16 mm (ill. 11) dans 15 wagons pour une production quotidienne de quelque 220 mètres de voie sur dalle. Puis 3 wagons de ciment et 1 wagon-citerne pour le transport de l'eau avec une capacité supplémentaire pour les additifs (fluidifiants) sont venus compléter le système pour la formulation du béton. Le bon fonctionnement du malaxeur monté sur un wagon plat spécial a été assuré par un wagon-atelier intervenant lors d'éventuels travaux de maintenance et de réparation sur site, par un wagon doté d'un transformateur de courant de 16 kV permettant de raccorder le train au réseau de moyenne tension du tunnel, par un wagon avec générateur de secours d'env. 650 kVA en cas de panne de courant, mais aussi par un wagon de collecte des déchets de béton afin que le béton non apte à la transformation puisse être évacué du tunnel en cas d'événements. Mentionnons, pour finir, le wagon-pompe grâce auquel le béton était chargé sur le transporteur.



Illustration 12 : le wagon-pompe à l'extrémité de tête du train de bétonnage © TTG

Fabriquer le béton directement à l'intérieur du tunnel présentait de grands avantages. Il a ainsi été produit « just in time » dans la quantité qui pouvait être transformée. Cette organisation a permis de réagir presque immédiatement aux interruptions et de disposer également toujours de béton frais coulé pendant son temps d'ouverture naturel. Aucune mesure visant à contrôler le temps d'ouverture du béton (retardateur, accélérateur, etc.) n'a par conséquent été nécessaire, et le recours à des substances chimiques a été réduit au strict minimum, c'est-à-dire à la seule utilisation de fluidifiants. Pendant toute la durée du bétonnage, la voie achevée derrière le train était ainsi dégagée et accessible pour d'autres corps de métier et leurs travaux de second œuvre. Le seul transport de personnes organisé était destiné à la relève de l'équipe de bétonnage. Le train de bétonnage lui-même est resté in situ dans le tunnel durant plus de deux rotations de 8 heures et a continué à tourner sans interruption grâce aux équipes qui se sont relayées.

Étant donné que le train de bétonnage (ill. 12) ne pouvait circuler sur la voie achevée qu'après que le tronçon fraîchement bétonné avait atteint une résistance minimale (soit env. 48 heures après la mise en place), le béton a dû être acheminé du malaxeur à son

lieu de mise en place définitif. Utiliser des tuyaux de pompage n'était pas une solution judicieuse, puisqu'il fallait stabiliser la géométrie de la voie, mais aussi respecter le rendement exigé. C'est pourquoi les ingénieurs ont mis au point un transporteur spécifique (ill. 13). Mû par entraînement électrohydraulique et équipé de pneus en caoutchouc, il a circulé sur la banquette.

Sur le lieu de mise en place, le béton de remplissage a été coulé au moyen d'un distributeur de béton acheminé par le transporteur et d'une plateforme sur laquelle les ouvriers ont travaillé. La capacité du distributeur a été calculée pour que le transporteur ait le temps d'effectuer un aller-retour, même si la distance entre le train de bétonnage et le chantier était très importante (env. 800 m max.).

L'équipe de bétonnage était responsable de la mise en place continue, le plus possible exempte de bulles, du béton de remplissage. Une pente transversale de 0,7 degré d'inclinaison a été aménagée pour le drainage superficiel de la dalle. Cette précision dimensionnelle et le nécessaire traitement de surface du béton entre les compartiments des traverses et sous les rails ont impliqué le recours à un talochage manuel par l'équipe de professionnels dévolus à cette tâche (ill. 14/15).



Illustration 13 : le transporteur de béton circule sur la banquette ©TTG



14



15

Illustrations 14 et 15 : mise en place du béton — travail manuel de mise en œuvre de la surface de dalle requise, réalisé le jour de la pose de la traverse d'or, le 21 octobre 2014 ©TTG



Illustration 16 : le train de bétonnage dans la halle — site de transbordement des matériaux et atelier de maintenance © TTG

7 Maintenance et technique

Le recours à des technologies complexes exige une maintenance et un entretien continus des machines et des appareils, qui ne peuvent avoir lieu qu'en horaire nocturne du fait du processus de production ininterrompu. Tandis que les robots constructeurs de voie et les machines de mise en place du béton étaient nettoyés, entretenus et réparés dans le tunnel, le train de bétonnage quittait le tunnel à la fin du travail de l'équipe du soir et regagnait le site d'installation dans la halle pour y être nettoyé et rechargé (ill. 16).

8 Contrôle qualité

Comme nous l'avons décrit, le contrôle qualité assuré par des vérifications continues était une priorité absolue. Une nécessité qui reposait sur l'élaboration du contrat d'entreprise. Ce contrat d'entreprise générale a été conçu sur le modèle V de la norme EN 50 126 (CENELEC), qui décrit les phases de projets ferroviaires complexes au moyen d'un processus FDMS contrôlé. L'ouvrage à construire doit répondre à des exigences de fonctionnalité détaillées. Des résultats sans équivoque (vérification et validation) ont démontré qu'elles étaient remplies au cours de chaque phase de projet et à la fin. Cette démarche ne pouvait être réalisable que grâce à une autosurveillance continue. C'est pourquoi l'équipe de projet d'ARGE Fahrbahn a décidé en 2010, avant même le début des travaux de mise en œuvre de la voie dans le tunnel, de faire certifier le système de gestion de la qualité implémenté selon ISO 9001: 2008 (ill. 19) et de le faire « recertifier » en permanence jusqu'à l'achèvement des travaux d'installation fin 2014.



Illustration 17 : remise le 20 novembre 2012 du certificat de qualité S-Zert selon SN EN206-1 : 2000 ©AFTTG



Illustration 18 : les échantillons de béton avant leur livraison au laboratoire ©AFTTG

En d'autres termes, un procès-verbal était dressé pour chaque lot de production de béton (= 2,5 m³), et avant chaque livraison (2 x 2,5 m³), la qualité du béton frais (consistance, masse volumique et teneur en air) était vérifiée directement par un laboratoire mobile de contrôle sur le train. Le laboratoire délivrait ensuite un bon de livraison. Le contremaître en charge du changement d'équipe réceptionnait le béton en tête de montage et accusait réception en apposant date et heure.

Tous les jours, 6 contre-échantillons (prismes) (ill. 17) étaient prélevés et envoyés au laboratoire de contrôle de la galerie d'essais d'Hagerbach. Là-bas, les experts analysaient la résistance à la compression et à la flexion à court terme (24/48 h) et à long terme (28 j) et effectuaient des tests de longue durée afin de déterminer leur résistance aux chlorures, aux sulfates et au gel/dégel ainsi que leur conductivité hydraulique.

Les courbes granulométriques des fractions de granulats et la qualité du ciment ont également fait l'objet de surveillances et de tests permanents, des contre-échantillons ont été prélevés et conservés pendant toute la durée du projet, comme la réaction alcalis des agrégats (AAR). Pendant toute la durée de la mise en place, d'octobre 2010 à octobre 2014, les agrégats destinés au béton de la voie ont été extraits par l'entreprise Holcim à la même source, la gravière Hüntwangen, dans le but d'assurer une qualité constante pendant tout le projet.

Pour traiter le béton de remplissage fraîchement mis en place, la surface a été protégée d'une dessiccation trop rapide par une application de produit de cure et par une bâche plate. 12 heures après la mise en place du béton, les équipes ont humidifié la surface en continu afin d'éviter toute fissuration intempestive. La mise en place d'inducteurs de fissures à intervalles de 4,2 m a délibérément affaibli la section de la dalle de voie afin de maintenir, lors du durcissement, une fissuration contrôlée aux points de rupture. Grâce à ces techniques, la largeur de fissure a été majoritairement limitée à $s \leq 0,5$ mm.

Comme les prescriptions de qualité pour la production de béton sur le train de bétonnage étaient conformes aux exigences d'une centrale à béton stationnaire, la production a été certifiée en novembre 2012 (ill. 18/20) selon S-Cert-Standard SN EN206-1:2000 par l'organisme suisse de certification pour les produits de construction. L'engagement d'ARGE Fahrbahn à satisfaire les exigences élevées de qualité à l'égard de leur client ATG s'est, une fois encore, durablement concrétisé.



DET NORSKE VER

MANAGEMENTSYSTEM

Zertifikat-Nr.: 67886-2009-AQ-GE

Hiermit wird bescheinigt, dass das Unt

ARGE Fahrbahn Transte

**Hansmatt 32
6370 Stans - Schweiz**

ein Managementsystem in Übereinstimmung m

ISO 9001:2008

eingeführt hat.

Dieses Zertifikat ist gültig für die folgenden Produkt- oder

**Planung, Bau und Unterhalt von Schotterlosem C
inklusive Weichen für Gemischt- und Hochgeschwin
Gotthard Basis Tunnel, sowie Planung, Bau und Un
inklusive Weichen der Zulaufstrecken Nord und
zum Gotthard Basis Tunn**

Datum der Erstzertifizierung:

03.03.2010

Das Zertifikat ist gültig bis:

02.03.2013

Das Audit wurde durchgeführt
unter der Leitung von

Philipp Zürcher
Leitender Auditor



Bei Verstoß gegen die im Zertifizierungsvertrag genannten Bedingungen verliert da
DNV Zertifizierung und Umweltgutachter GmbH, Schnieringhof 14, 45329 Essen, Tel: +49 201 7296

Illustration 19 : certification ISO-9001 : 2008 d'AFTTG

RITAS
ZERTIFIKAT

R-TGA
Unternehmen
c Gotthard

...it dem Standard

...r Dienstleistungsbereiche:

Gleisbau (Feste Fahrbahn)
...digkeitseisenbahnverkehr im
...terhalt von Schottergleisbau
...l Süd von der Stammlinie
...el.

Ort und Datum:
Essen, 03.03.2010

Akkreditiertes Zertifizierungsunternehmen:
DNV ZERTIFIZIERUNG UND UMWELTGÜTACHTER GMBH



Nikolaus Kim
Geschäftsführer

...s Zertifiz...at umgehend seine Gültigkeit.
100 Fax: +49 201 7296 333 - www.dnv.de/zertifizierung

Schweizerische Zertifizierungsstelle für Bauprodukte
Organisme suisse de certification pour produits de construction
Ente svizzero di certificazione per prodotti da costruzione
Swiss certification body for construction products



ZERTIFIKAT über die werkseigene
Produktionskontrolle

BE 316

Gemäss dem Bundesgesetz über Bauprodukte (Bauproduktegesetz, SR 933.0) vom 8. Oktober 1999 (Stand am 28. Dezember 2000) und der Verordnung über Bauprodukte (Bauprodukteverordnung, SR 933.01) vom 27. November 2000 (Stand am 07. November 2006), wird hiermit bestätigt, dass die ARGE Fahrbahn Transtec Gotthard (AFTTG) eine Produktionskontrolle für die Betonproduktion aufgebaut hat, unterhält und zweckmässig anwendet, welche den Anforderungen der SN EN 206-1:2000 entspricht.

ARGE Fahrbahn Transtec Gotthard (AFTTG)
Hansmatt 32, 6370 Stans

Dieses Zertifikat gilt für den Betonzug / Dosier- und Mischanlage
IP Rynächt

Die Gültigkeitsdauer des Zertifikats ist anlässlich der periodischen
Regelüberwachung zu bestätigen.
Dieses Zertifikat wurde erstmals am 20. November 2012 ausgestellt und
gilt bis 19. November 2017.

Wildegg, 20. November 2012



Daniele Raldi
Leiter der Zertifizierungsstelle



S SCHWEIZERISCHER ZERTIFIZIERUNGSDIENST
CE SERVICE SUISSE DE CERTIFICATION
S SERVIZIO SVIZZERO DI CERTIFICAZIONE
S SWISS CERTIFICATION SERVICE

SECSp 094

Illustration 20 : certificat S-Zert pour la production de béton avec train de bétonnage pour AFTTG



Illustration 21 : 31 octobre 2014 – Dr Renzo Simoni remercie ARGE Fahrbahn Transtec Gotthard pour la livraison dans les délais impartis de la voie sur dalle dans le TBG © AlpTransit Gotthard AG

9 Résumé

Un processus de montage quasi industriel présentant un très fort degré de mécanisation et des étapes de travail standardisés a été développé pour la mise en place de la voie sur dalle dans le TBG. Grâce à cette sécurité de processus, les exigences de qualité très hautes à l'égard du produit « Voie sur dalle » ont pu être satisfaites sans restriction. La synergie entre une technologie efficace et un travail manuel qualifié réalisé par des professionnels a permis d'établir un standard très élevé de sécurité au travail, mais aussi de réduire au minimum la charge physique des collaborateurs exécutant les tâches. Le trio efficacité, sécurité et qualité a contribué à accélérer le « chemin critique » des corps de métiers de sorte que l'ensemble du projet du tunnel de base du Gotthard a, grâce à la coopération entre ATG-TTG et AFTTG, été achevé une année plus tôt que prévu.

L'enrobage de la traverse d'or dans le béton s'est déroulé au portail sud du tunnel le 31 octobre 2014, l'essai de fonctionnement dans tout le tunnel a été lancé par ATG le 1er septembre 2015 et toute la technique ferroviaire a été livrée par TTG-ATG un an plus tôt que prévu, le 31 mai 2016. Ce succès est le fruit du partenariat dynamique de tous les fournisseurs et les sous-traitants parties prenantes du projet.

Liste des abréviations

AFTTG	Communauté de travail Transtec Gotthard pour la voie sur dalle
ATG	Alptransit Gotthard AG
TBG	Tunnel de base du Gothard
LVT	Low Vibration Track (système de blochets reposant dans un chausson en caoutchouc)
TTG	Communauté de travail Transtec Gotthard

Table des illustrations

1	schéma du système du tunnel TBG avec stations d'arrêt d'urgence et ventilation © AlpTransit Gotthard AG
2	voie sur dalle de béton achevée dans le tronçon Faido-Bodio ouest © TTG
3	profil normal de la voie sur dalle dans le TBG © AlpTransit Gotthard AG
4	gravière de la société Holcim, Hüntwangen © Holcim (Schweiz) AG
5	teneur en sulfates des eaux de montagne © AlpTransit Gotthard AG
6	système de blochets LVT (Low Vibration Track) de Sonneville © Vigier Rail AG
7	déchargement des rails © AFTTG
8	alignement des rails avant le soudage © AFTTG
9	soudage des rails en bout par étincelage © AFTTG
10	les machines de construction de voies ferrées © AFTTG
11	les wagons du train de bétonnage transportant les agrégats © ATTG
12	le wagon-pompe à l'extrémité de tête du train de bétonnage © TTG
13	le transporteur de béton circule sur la banquette © TTG
14/15	mise en place du béton – travail manuel de mise en œuvre de la surface de dalle requise, réalisé le jour de la pose de la traverse d'or le 21 octobre 2014 © TTG
16	le train de bétonnage dans la halle – site de transbordement des matériaux et atelier de maintenance © TTG
17	remise le 20 novembre 2012 du certificat de qualité S-Zert selon SN EN206-1 : 2000 © AFTTG
18	les échantillons de béton avant leur livraison au laboratoire © ATTG
19	certification ISO-9001 : 2008 d'AFTTG
20	certificat S-Zert pour la production de béton avec train de bétonnage pour AFTTG
21	31 octobre 2014 – Dr Renzo Simoni remercie ARGE Fahrbahn Transtec Gotthard pour la livraison dans les délais impartis de la voie sur dalle dans le TBG © AlpTransit Gotthard AG

Groupement d'intérêts des routes en béton

cemsuisse
Association suisse de l'industrie
du ciment
Marktgasse 53
3011 Berne
Téléphone 031 327 97 97
info@cemsuisse.ch
www.cemsuisse.ch

Ebicon AG
Breitloostrasse 7
8154 Oberglatt
Téléphone 043 411 28 20
info@ebicon.ch
www.ebicon.ch

Grisoni-Zaugg SA
ZI Planchy
Case postale 2162
1630 Bulle 2
Téléphone 026 913 12 55
info@grisoni-zaugg.ch
www.groupe-grisoni.ch

Holcim (Schweiz) AG
Hagenholzstrasse 83
8050 Zurich
Téléphone 058 850 68 68
betonstrassen@holcim.com
www.holcim.ch

Holcim (Suisse) SA
1312 Eclépens
Téléphone 058 850 92 14
chauseebeton@holcim.com
www.holcim.ch

Implenia Schweiz AG
Binzmühlestrasse 11, 8050 Zurich
Téléphone 058 474 75 00
daniel.hardegger@implenia.com
www.implenia.com

Jura-Cement-Fabriken AG
Talstrasse 13
5103 Wildegg
Téléphone 062 887 76 66
info@juracement.ch
www.juracement.ch

Juracime SA
Fabrique de ciment
2087 Cornaux
Téléphone 032 758 02 02
info@juracime.ch
www.juracement.ch

KIBAG Bauleistungen AG
Strassen- und Tiefbau
Müllheimerstrasse 4
8554 Müllheim-Wigoltingen
Téléphone 052 762 61 11
p.althaus@kibag.ch
www.kibag.ch

Müller Engineering GmbH
Beratung und Expertisen
für Verkehrsflächen in Beton
Kirchstrasse 25
8564 Wäldi TG
Téléphone 079 247 82 49
gm@müller-engineering.ch
www.müller-engineering.ch

Sika Schweiz AG
Tüffenwies 16, 8048 Zurich
Téléphone 058 436 40 40
hirschi.thomas@ch.sika.com
www.sika.ch

Specogna Bau AG
Steinackerstrasse 55, 8302 Kloten
Téléphone 044 800 10 60
info@specogna-bau.ch
www.specogna-bau.ch

Synaxis AG Zürich
Thurgauerstrasse 56, 8050 Zurich
Téléphone 044 316 67 86
c.bianchi@synaxis.ch
www.synaxis.ch

Toggenburger AG
Schlossackerstrasse 20
Postfach 3019, 8404 Winterthur
Téléphone 052 244 13 03
info@toggenburger.ch
www.toggenburger.ch

Ciments Vigier SA
Zone industrielle Rondchâtel, 2603 Péry
Téléphone 032 485 03 00
info@vigier-ciment.ch
www.vigier-ciment.ch

Walo Bertschinger Zürich AG
Postfach 1155, 8021 Zurich
Téléphone 044 745 23 11
kurt.glanzmann@walo.ch
www.walo.ch

BETONSUISSE



BETONSUISSE Marketing AG
Marktgasse 53, CH-3011 Bern
Téléphone +41 (0)31 327 97 87, fax +41 (0)31 327 97 70
info@betonsuisse.ch, www.betonsuisse.ch

InformationsZentrum Beton GmbH
Steinhof 39, D-40699 Erkrath
Téléphone +49 (0)211 28048-1, fax +49 (0)211 28048-320
erkath@beton.org, www.beton.org

Verein Betonmarketing Österreich
Anfragen für den Bereich Betonstraßen an Zement + Beton
Handels- und Werbeges.m.b.H., Reisnerstraße 53, A-1030 Wien
Téléphone +43 (0) 1 714 66 85-0
zement@zement-beton.co.at, www.zement.at