

**Zeitschrift:** Tracés : bulletin technique de la Suisse romande  
**Herausgeber:** Société suisse des ingénieurs et des architectes  
**Band:** 131 (2005)  
**Heft:** 19: Implanter AlpTransit

**Artikel:** Le tunnel de base du Lötschberg  
**Autor:** Riesen, Hans-Ueli / Schweizer, Beat / Schlatter, Andreas  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-99414>

### **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>**

# Le tunnel de base du Lötschberg

TUNNELS

Fin avril 2005, le percement du tunnel de base du Lötschberg s'achève par la rencontre, sous près de 2000 m de rocher, des deux équipes de mineurs. Ceux-ci ont évidemment joué un rôle primordial dans ce succès, mais une part importante en revient également aux géomètres qui les ont guidés. L'utilisation des cadres de référence MN95 et RAN95 et une combinaison de méthodes éprouvées et d'innovations pour les travaux d'implantation souterraine ont permis d'atteindre les critères de précision du maître de l'ouvrage.

Les exigences de précision du dossier de soumission établi par *BLS AlpTransit AG* étaient formulées de la façon suivante: «L'implantation du tunnel doit garantir à chaque jonction un écart-type simple inférieur à 10 cm latéralement et à 5 cm verticalement. La fiabilité des coordonnées doit garantir 25 cm en planimétrie et 12,5 cm en altimétrie. Statistiquement, ces valeurs correspondent à des intervalles de confiance au niveau de probabilité 99 %.»

Dès le retour des soumissions, un calcul de préanalyse (voir encadré) incluant le respect du concept de mesure (modèle fonctionnel) et les précisions de mesure des différents types d'observation (modèle stochastique) a montré que la méthode d'implantation préconisée permettait de remplir les exigences du maître de l'ouvrage pour l'erreur de percement à la jonction principale. La composante transversale de l'ellipse d'erreur relative correspond à l'écart-type  $\sigma$  prévu sur l'erreur de percement (fig. 1 et tabl. A).

## Réseau géodésique de base

En octobre 1993, *swisstopo* posa les bases du réseau de surface pour l'implantation du tunnel - réseau qui a également servi à l'implantation de la galerie de sondage de Frutigen-Mitholz - à partir des principes suivants:

- réseau GPS de haute précision pour la position relative et la définition des azimuts entre les cinq portails des accès principaux et secondaires, avec au minimum trois points GPS par portail: 18 points ont été ainsi définis et rattachés

à la mensuration nationale MN95 (1995); les mesures GPS ont été exploitées avec le logiciel *Berner Software*, sur la base d'orbites de satellites IGS précises;

- mesure précise des directions et des distances des réseaux des portails principaux et secondaires, incluant les points GPS; on visait ainsi à améliorer la précision réciproque et la fiabilité, et à disposer de points d'appui pour la détermination des azimuts gyroscopiques de référence;
- compensation de toutes les observations (GPS et terrestres) dans un réseau combiné et rattaché au cadre de référence MN95; l'échelle et l'orientation du système de coordonnées correspondent donc au système de référence national CH1903+;
- calcul des contraintes de rattachement pour les réseaux locaux de tous les portails par rapport au cadre MN03 (1903);
- pour les altitudes, les réseaux locaux ont fait l'objet d'un nivellement de précision et d'un rattachement à la ligne du réseau de nivellement fédéral Spiezwiler-Frutigen-Lötschberg-Scheiteltunnel - Gampel - Visp; on s'est appuyé sur le système d'altitudes orthométriques du réseau altimétrique national RAN95<sup>1</sup>;
- prise en compte des déviations de la verticale et des ondulations du géoïde calculées sur la base du modèle de géoïde suisse *Geoid98*.

La compensation et le rattachement dans le cadre de référence MN95/RAN95 permettent que les coordonnées du système-chantier soient libres de contraintes et correspondent à celles de la nouvelle mensuration. Des observations ultérieures peuvent ainsi s'y intégrer directement, sans aucune transformation locale. Ce rattachement n'impose pas de correction d'échelle et d'orientation pour les observations GPS et celles des distances. De plus, avec le rattachement altimétrique à RAN95, on dispose d'altitudes orthométriques compatibles avec la théorie du potentiel. En leur appliquant les

<sup>1</sup> Ce réseau, résultat d'une nouvelle compensation cinématique, a permis de quantifier les surrections et les affaissements sur la base d'observations effectuées à plusieurs époques. Il prend aussi en compte l'influence du champ de pesanteur.



ondulations du géoïde tirées du modèle de géoïde centimétrique de la Suisse (*Geoid98*), on bénéficie du contrôle réciproque entre les valeurs GPS et les nivellements.

Cependant, cette option de rattachement présente aussi des inconvénients. En effet, tant dans l'Oberland bernois qu'en Valais, il faut s'attendre à des différences planimétriques et altimétriques de l'ordre du décimètre par rapport aux données cadastrales en vigueur. D'autre part, tous les nivellements de précision, notamment dans les galeries, doivent tenir compte de l'influence du champ de pesanteur (corrections orthométriques).

En 1994, *swisstopo* a mesuré le réseau de surface pour la galerie de Frutigen-Mitholz. En automne 1997, le réseau de base pour l'ensemble du tunnel ainsi que certains réseaux locaux valaisans ont été reconnus et observés par GPS de nuit. D'autres mesures de contrôle et de rattachement par GPS ont eu lieu en 1998, 2000 et 2001. La ligne du nivellement fédéral Spiezwiler-Visp avait été mesurée en 1913 et en 1983. Le premier tunnel du Lötschberg avait été partiellement nivelé en 1996, puis entièrement en 1999 dans le cadre d'études géotectoniques. Pour la ligne Gampel-Brig, on disposait d'observations datant de 1916, 1948 et 1996. Les nivellements spécifiques pour le rattachement altimétrique des réseaux des portails ont eu lieu en 1997.

La précision planimétrique des coordonnées GPS du réseau de base, compensées dans le cadre de référence MN95, est de 3 mm (au niveau de confiance 95 %). La précision de la différence de niveau entre Frutigen et Rarogne est de 12 mm (au niveau de confiance 95%). Il y a donc une excellente correspondance entre les différences d'altitude orthométriques issues du nivellement - valeurs corrigées en fonction de l'effet du champ de pesanteur - et celles issues de GPS - altitudes ellipsoïdiques corrigées en fonction des ondulations du géoïde.

## Travaux de géodésie souterraine

### Méthode de mesure

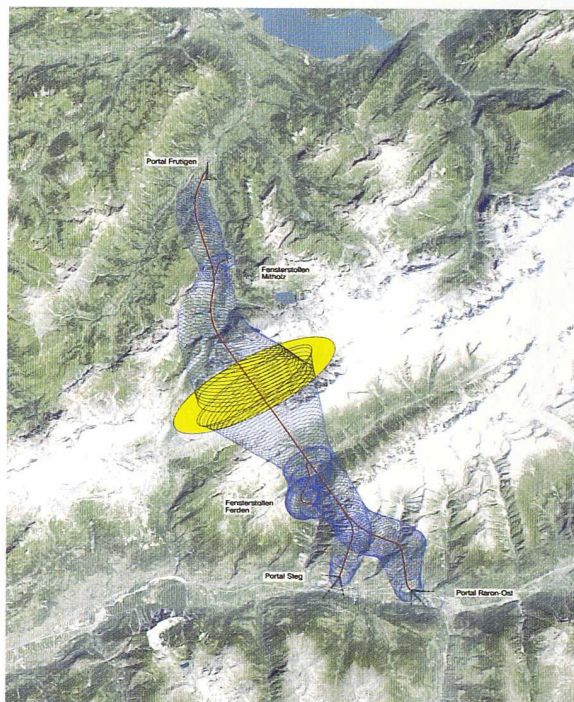
Le dispositif dans le tunnel est un cheminement polygonal lancé - avec observations surabondantes -, rattaché aux repères des portails et contrôlé par des azimuts gyroscopiques (fig. 2). Les altitudes sont déterminées par nivellement.

### Distance entre les repères

Pour le tunnel de base et les galeries d'accès, les repères d'implantation étaient espacés de 40 à 250 mètres, le choix des distances répond à la combinaison de plusieurs facteurs :

### Calcul de préanalyse

La préanalyse consiste à calculer la précision et la fiabilité d'un réseau géodésique qui n'existe pas encore. Sur la base d'un projet, on indique l'emplacement des repères, le type, la liste et la précision des observations prévues. Le résultat du calcul indique dans quelle mesure le réseau conçu permettra d'atteindre les exigences du maître de l'ouvrage. On peut alors l'optimiser techniquement ou économiquement, soit en le renforçant, soit en le simplifiant.



1

A

Ecart	Erreur de percement ( $1\sigma$ )	Intervalle de confiance à 90%
latéral	6,6 cm	20,1 cm
vertical	1,6 cm	4,1 cm

2

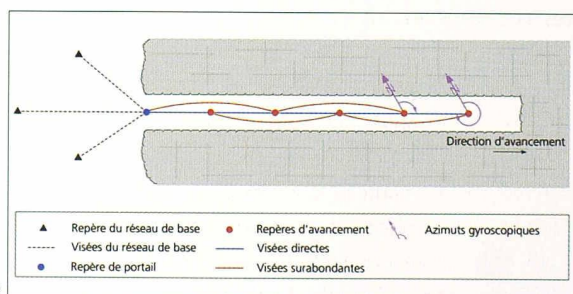




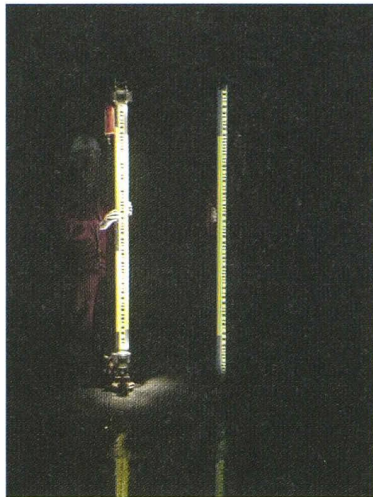
Fig. 3 : Ancien (à gauche) et nouveau (à droite) systèmes d'éclairage de la mire

Fig. 4 : Résultats des tests de nivellement

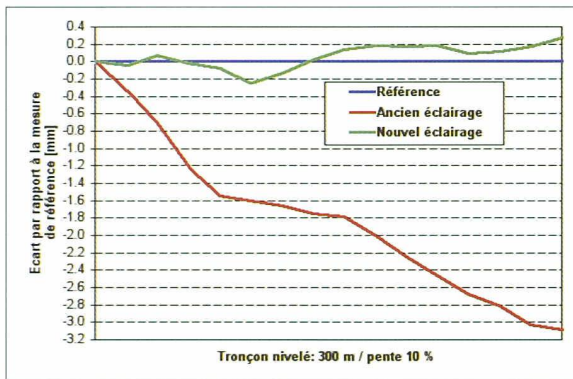
Tabl. B : Contrôle du percement à la jonction principale

Fig. 5 : Schéma des voies et des accès intermédiaires

(Sauf mention, tous les documents illustrant cet article ont été fournis par les auteurs)



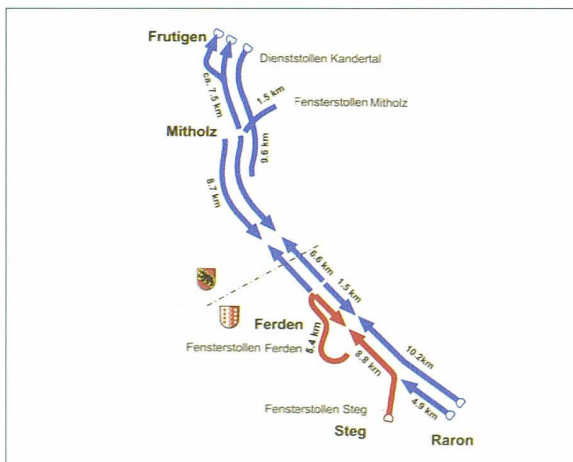
3



4

Ecart	Erreur effective	Tolérance maximale à 99%	Ratio entre l'erreur effective et la tolérance
latéral	13,4 cm	25 cm	54 %
vertical	0,4 cm	12,5 cm	3 %
longitudinal	10,3 cm	-	-

B



5

- la géométrie des voies, qui limite la distance maximale entre les repères d'implantation ;
- les critères de précision et la propagation des erreurs, qui incitent à choisir des côtés aussi longs que possibles ;
- les possibilités des instruments (système de pointé automatique ATR) et la qualité de l'air dans le tunnel, qui limitent la longueur effective des visées ;
- des visées aussi éloignées que possible des parois du tunnel, pour réduire l'influence de la réfraction latérale.

#### Emplacement des repères

Les spécialistes s'accordent pour dire que les meilleurs emplacements pour les repères sont le radier et le voisinage de l'axe du tunnel. Ils offrent les avantages suivants :

- influence minimale de la réfraction latérale,
- influence minimale des convergences horizontales,
- protection contre les dégâts d'origine mécanique,
- facilité d'accès.

#### Mesures d'azimuts gyroscopiques

Lorsqu'on implante un tunnel aussi long que celui de Lötschberg, il est indispensable de compléter les mesures au tachéomètre par l'emploi d'un gyroscope « chercheur de nord » (voir paragraphe « azimuts gyroscopiques » p. 14). Celui-ci permet un contrôle efficace et indépendant de l'orientation de la polygonale lancée, en augmente la précision tout en minimisant l'impact éventuel de la réfraction latérale.

Au Lötschberg, des différences notables entre l'orientation issue de la polygonale et celle fournie par les azimuts gyroscopiques n'ont été observées que dans la galerie d'accès de Steg. Une analyse menée après la jonction Steg-Ferden a montré que, sans mesures gyroscopiques, l'erreur latérale de percement serait restée inférieure à 1 cm pour la fenêtre de Ferden, mais aurait atteint environ 36 cm pour celle de Steg. Cette expérience confirme que la réfraction latérale ne peut pas être négligée dans les grands tunnels, et souligne l'importance des mesures gyroscopiques.

#### Eclairage des mires de nivellement

Lors de l'implantation de la fenêtre de Ferden, on a constaté une différence systématique entre les différences de niveau trigonométriques et celles issues du nivellement. L'équipement de nivellement d'origine comprend un éclairage constitué de deux lampes halogènes disposées en haut et en bas de la mire à code-barre. Ce dispositif fournit un éclairage hétérogène provoquant des erreurs systématiques de mesure qui peuvent atteindre, selon nos investigations, 1/10 mm par mètre nivelé.



### Les partenaires pour les travaux de mensuration

BLS Lötschbergbahn AG a participé au projet à travers le groupe d'Assistance géodésique directe issu de la division « Infrastructures/Installations/Mensuration ». Ce groupe a assumé la coordination et la surveillance de l'établissement des données de base, participé à la sélection des géomètres en charge du projet, puis assuré l'interface organisationnelle entre ceux-ci et le maître de l'ouvrage. Il a aussi coordonné l'établissement de la documentation des installations, conformément aux directives de la « Banque de données des installations fixes » (DfA).

swisstopo (Office fédéral de la topographie) a assuré le rattachement du réseau géodésique de base à l'air libre à la mensuration nationale MN95 (par GPS) et au nivellement fédéral RAN95. La reconnaissance et la mesure des réseaux aux portails ont été déléguées au consortium IG BeWa.

Le consortium d'ingénieurs IG BeWa a assumé le rôle de géomètre du projet pour BLS AlpTransit AG. Sa tâche, qui consistait à implanter le tunnel de base et ses voies d'accès, incluait les prestations suivantes :

- travaux préliminaires,
- implantations diverses en surface et implantation du tunnel,
- mesures de convergence,
- contrôles de stabilité (constructions et terrains),
- implantation et contrôle de l'infrastructure des voies,
- exécution des plans des voies (DfA).

Le consortium IG BeWa est composé des partenaires suivants :

- Riesen & Stettler AG, Urtenen-Schönbühl
- BSAP Ingenieure und Berater, Brig-Glis
- Häberli + Toneatti AG, Spiez
- Klaus Aufdenblatten Geomatik AG, Zermatt

On a testé plusieurs variantes d'éclairage pour retenir finalement un système où le code-barre de la mire est éclairé de manière très homogène par un cordon latéral de diodes lumineuses (fig. 3).

L'efficacité de ce nouvel éclairage a été prouvée en comparant, en galerie et à l'air libre, différents schémas de mesure. On a choisi comme instruments de référence un appareil de nivellement optique et un appareil numérique, ce dernier étant utilisé avec l'ancien puis avec le nouvel éclairage. Les résultats sont sans équivoque (fig. 4) : si le nouvel éclairage conduit au même résultat que la lumière du jour, l'ancien provoque une nette erreur systématique<sup>2</sup>.

### Perçement à la jonction principale

Le contrôle de l'implantation a mis en évidence les erreurs de perçement du tableau B. Compte tenu de la situation de départ peu favorable sur les points de base à Mitholz et à Ferden - directions de rattachement inférieures à 80 m, galerie coudée à 90° dans la fenêtre d'accès (fig. 5) - et les conditions de travail difficiles (température, humidité, poussière), on peut considérer ces résultats comme excellents. La pré-analyse avait montré qu'on aurait pu améliorer la précision avec des mesures supplémentaires, mais le maître de l'ouvrage avait renoncé à resserrer ses exigences.

Hans-Ueli Riesen, ing. dipl. EPF  
IG BeWa, p. a. Riesen & Stettler AG  
Ing.- und Vermessungsbüro, Solothurnstrasse 28  
CH - 3322 Urtenen-Schönbühl

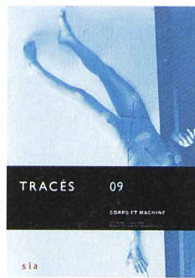
Beat Schweizer, ing. dipl. ETS  
BLS Lötschbergbahn AG  
Division « Infrastructures/Installations/Mensuration »  
Gengfergasse 11, CH - 3001 Berne

Andreas Schlatter, ing. dipl. EPF  
Adrian Wiget, ing. dipl. EPF  
swisstopo, Seftigenstrasse 264, CH - 3084 Wabern

Texte original en allemand, traduction par Hubert Dupraz

<sup>2</sup> Ce gain de précision a été confirmé en laboratoire par les constructeurs d'instruments Zeiss et Leica

# WWW.REVUE-TRACES.CH



ARCHITECTURE  
GÉNIE CIVIL  
ENVIRONNEMENT  
NOUVELLES TECHNOLOGIES

Recherche d'archives  
de 1875 à nos jours

DEZA DDC DSC SDC COSUDE  
DIREKTION FÜR ENTWICKLUNG UND ZUSAMMENARBEIT  
DIRECTION DU DÉVELOPPEMENT ET DE LA COOPÉRATION  
DIREZIONE DELLO SVILUPPO E DELLA COOPERAZIONE  
SWISS AGENCY FOR DEVELOPMENT AND COOPERATION  
AGENCIA SUIZA PARA EL DESARROLLO Y LA COOPERACIÓN



**L'aide humanitaire de la Confédération est rattachée à la Direction du développement et de la coopération (DDC). C'est dans ce cadre que travaille le Corps suisse d'aide humanitaire (CSA), un corps de milice conçu pour intervenir n'importe où dans le monde. Il compte actuellement une centaine de membres occupés à secourir des personnes en détresse dans plus de 30 pays.**

Nos effectifs doivent être augmentés: nous avons besoin de spécialistes pour nos actions directes et que nous puissions mettre à la disposition d'organisations internationales (ONU). Il s'agit de missions de durée limitée, actuellement principalement dans des pays d'Afrique. Nous cherchons en particulier des:

## Water and Sanitation Engineers (formation de base: ingénieur en génie civil)

Exigences: citoyen/citoyenne suisse ou de nationalité étrangère avec domicile en Suisse ou au Liechtenstein (permis C), vous avez achevé des études universitaires ou une formation spécialisée équivalente et bénéficiez d'au moins cinq ans d'expérience professionnelle. Vous faites preuve de fiabilité, d'initiative, de souplesse et d'autonomie dans votre travail et êtes prêt à prendre la responsabilité d'un projet. Vous avez travaillé à l'étranger dans des pays de la coopération internationale\* et vous avez l'expérience des relations avec des personnes appartenant à d'autres cultures. En plus de l'allemand et du français, vous parlez très bien l'anglais. Vous jouissez d'une bonne santé et faites preuve de résistance. Vous avez entre 27 et 55 ans et êtes disponible pour des missions de 6 - 12 mois.

- Nous offrons la possibilité à quelques candidates/candidats d'acquérir une première expérience de travail à l'étranger, dans la mesure où elles/ils correspondent aux autres exigences.

Si l'idée de faire partie du Corps suisse d'aide humanitaire vous intéresse et que votre profil correspond à nos besoins, nous aurions plaisir à vous inviter pour une séance d'information ou un premier entretien. Veuillez nous envoyer votre curriculum vitae (2 pages au maximum) à l'adresse suivante:

DDC, Aide humanitaire et CSA  
Section du Personnel CSA, Mme Edith Kramer,  
Sägestrasse 77 / Köniz, 3003 Berne  
Téléphone 031 322 31 24; fax 031 324 16 94;  
E-Mail: edith.kramer@deza.admin.ch

Vous trouverez d'autres informations relatives au CSA sur Internet: [www.skh.ch](http://www.skh.ch)