

Visite de la tête de **Wannenboden** du tunnel de **Uetliberg (Suisse)**

Par **Mr Alain Robert** (CETU)
Mr Gérard Mazzolèni (CETU)
Dr. Arno Thut (Solexperts)
Mr Médéric Piedevache (Solexperts France)
 Remerciements à la société AMBERG Engineering pour les photos.

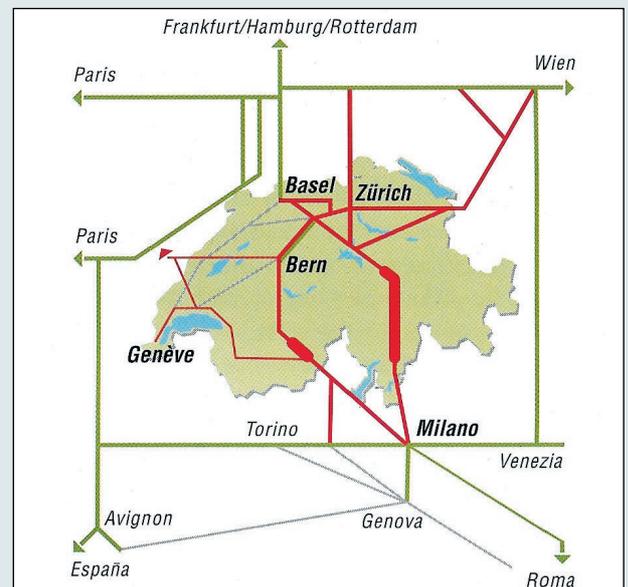


Dans le cadre de la politique d'aménagement des transports de la région zurichoise, de nombreux chantiers ont vu le jour autour de Zürich depuis six ans. Ces projets concernent aussi bien le développement des voies d'accès ferroviaires, accompagnant le percement des tunnels de base alpins (Saint Gothard, Lötschberg), que le contournement routier de la ville de Zürich.

La situation géographique de Zürich, du fait du relief difficile et du manque d'espace disponible, impose la construction d'ouvrages d'art et le percement de tunnels. Les conditions géologiques complexes et certains tracés en zone urbaine nécessitent une importante surveillance géotechnique.

Au cours de deux visites effectuées par le CETU, en mars 2001 et octobre 2002, Solexperts a présenté les différentes techniques mises en œuvre dans le cadre de la surveillance géotechnique de deux ouvrages souterrains : l'un en milieu urbain (tunnel du Zimmerberg) et l'autre en zone géologiquement complexe (tunnel de Uetliberg).

Le présent texte a pour objet de décrire la visite effectuée sur la tête de tunnel de Wannenboden, pour l'entrée Nord du tunnel de Uetliberg.



Projet de contournement ouest de Zürich et projets de liaisons ferroviaires

INTERVENANTS POUR LA TÊTE DE WANNENBODEN :

Maître d'ouvrage : **Tiefbauamt** des Kantons Zürich
 Coordination : **Amberg Engineering, Fietz AG**, civil engineers, Zurich
 Géologie : **Dr. Heinrich Jäckli AG**, Zurich
 Entreprises : **Joint Venture "Uetli"**, conduit par **Zschokke Locher**, Zurich;
Murer AG, Erstfeld;
Prader AG, Tunnelling, Zurich;
CSC Bauunternehmung AG, construction, Zurich;
Ways & Freytag, Munich/Frankfurt ;
Alpine Mayreder Bau GmbH, Salzburg-Wals;
ZüblinSchlittlerSpaltenstein Bau AG, Zurich

DESCRIPTION DU PROJET :

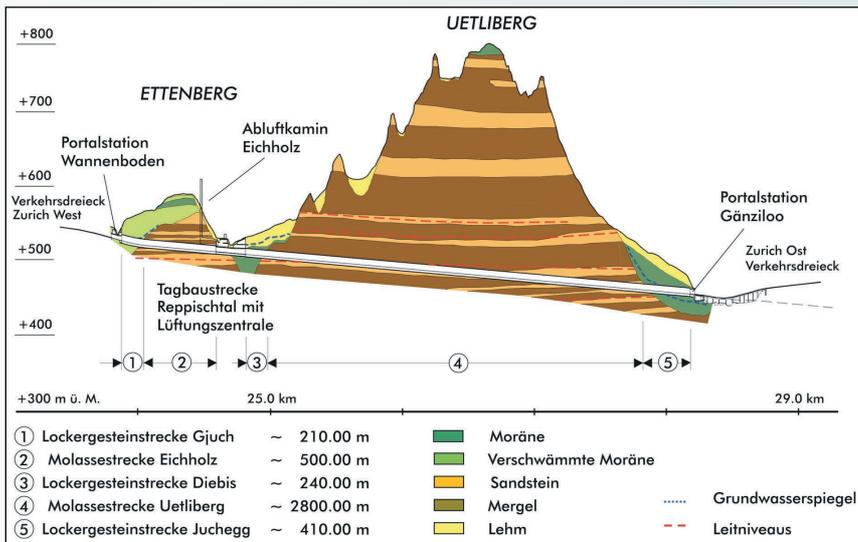
Tunnel de Uetliberg - Tête de Wannenboden

Caractéristiques du tunnel :

Tunnel bi-tube de 4,4 km de longueur assurant le contournement ouest de Zürich, en reliant à l'est le contournement du Birmensdorf N20 et à l'ouest l'autoroute A3.

Géologie :

Le tunnel recoupe deux collines, Uetliberg et Ettenberg, avec un recouvrement maximal de 320 m. Les terrains traversés sont des dépôts morainiques (terrains meubles) aux extrémités, et des molasses (alternance de marnes et calcaires) au centre.



Techniques de creusement :

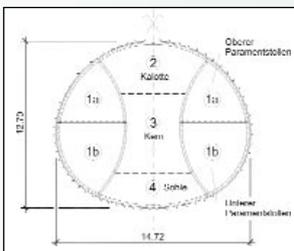
Le percement est effectué en deux tunnels consécutifs. Trois techniques différentes de creusement sont mises en œuvre en fonction de la géologie rencontrée :

- **Terrains meubles** : les terrains meubles sont creusés en section divisée. La section est découpée en plusieurs sections séparées par des cintres métalliques HEM 180, et est recouverte de 25 cm de béton projeté avec fibres. Les conditions géotechniques ont nécessité le traitement des terrains, en particulier lors de la réalisation des têtes.

- **Molasses de Eichholz** : attaque à l'explosif avec découpage en section divisée. Le creusement des terrains meubles de Gjuch est prolongé par celui des molasses d'Eichholz jusqu'à la vallée de Reppisch.

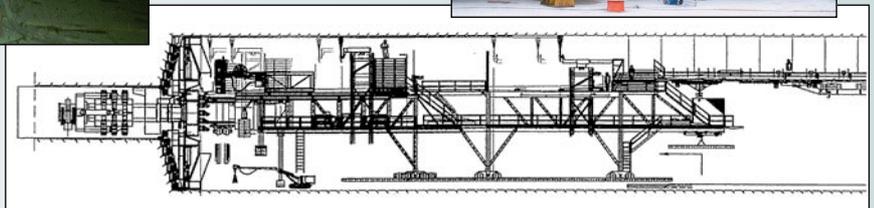
- **Molasses de Uetliberg** : réalisation d'un tunnel pilote de 5 m de diamètre par un tunnelier suivi d'un aléreur de tunnel utilisant la technique "undercutting". L'aléreur permet d'agrandir le tunnel à un diamètre de 14,4 m. Le tunnel est exécuté à partir de l'accès de la vallée de Reppisch pour le tube dans le sens descendant, et depuis la tête de Gänziloo pour le tube dans le sens montant.

Coupe géologique du tunnel de Uetliberg



Section de creusement dans les terrains meubles

Tunnelier pour le creusement des molasses



PHASAGE DE CREUSEMENT

Les conditions géotechniques rencontrées dans les terrains meubles de la tête de Wanneboden ont nécessité un phasage de l'excavation de la tranchée d'accès en avant de la tête. Celle-ci atteint une profondeur maximum de 15 m. L'ensemble est surplombé par un talus.

Le percement s'effectue suivant le phasage suivant :

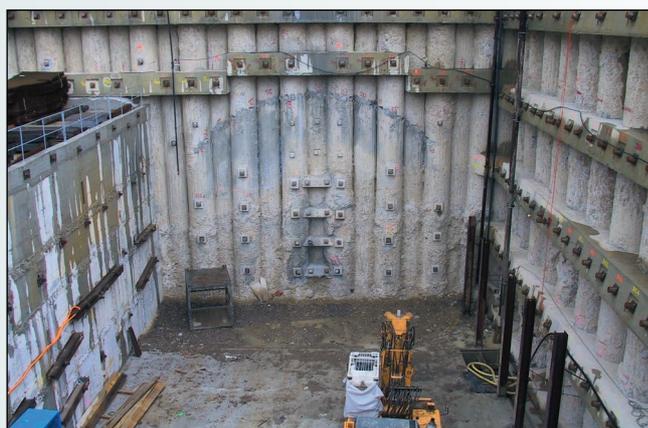
1. Excavation d'une tranchée d'environ 15 m de profondeur dans l'axe du tunnel. La tenue des parois est réalisée latéralement par une paroi berlinoise, puis par des pieux sécants au niveau du front d'attaque. Le talus surmontant la tête est soutenu par des pieux sécants. En outre, une partie des terrains, entre les entrées de chaque tube n'est pas excavée. L'ensemble des parois est repris avec des tirants d'ancrage.
2. Percement de chaque tube.
3. Excavation finale de la tranchée entre les entrées des deux tubes.



Vue de la tête de Wanneboden



Tube Chur



Excavation de la tranchée

INSTRUMENTATION

Pour s'assurer de la stabilité des terrains, un programme combinant des mesures manuelles et automatiques a été mis en œuvre (tableau ci-dessous).

SURVEILLANCE DE LA TÊTE DE WANNENBODEN

Mesures manuelles

- 1 forage horizontal situé dans le talus dans l'axe du tunnel (long. : 55 m) avec tubes de micromètre de forage et inclinométrique
- 10 tubes inclinométriques (long. : 20 m) dans la paroi berlinoise et les pieux sécants
- 4 forages (long. 25 m) avec tubes Trivec dans le talus au dessus du tracé du tunnel

Mesures automatiques via le système d'acquisition de données Solexperts-GeoMonitor

- 30 cellules de charge pour tirant
- 1 tachymètre avec 50 mire

LES GRANDS CHANTIERS INTERNATIONAUX

Une cinquantaine de mires, réparties sur les parois de la tranchée et sur le soutènement du talus, permettent à l'aide d'un tachymètre automatisé de suivre en continu les mouvements des parois. Ces mesures sont associées, sur une même centrale d'acquisition de données, à des mesures de charge pour tirants. La sécurité du chantier est assurée par le déclenchement d'alarmes en cas de dépassement des valeurs seuils de déformation ou de contrainte.

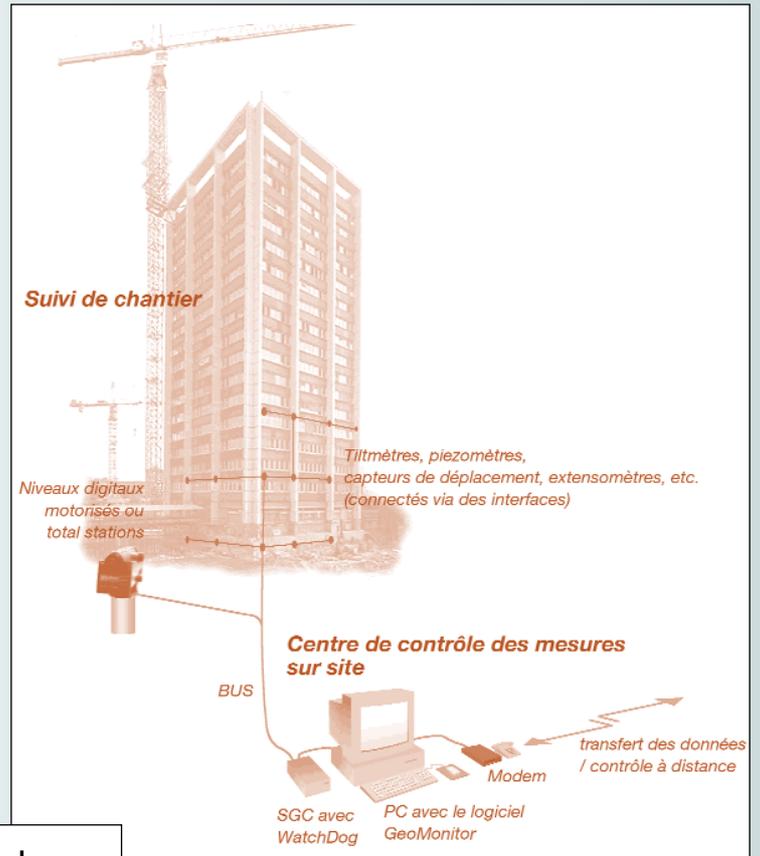


Schéma de principe de l'acquisition de données



Implantation des forages de surveillance dans le talus et les parois de la tranchée

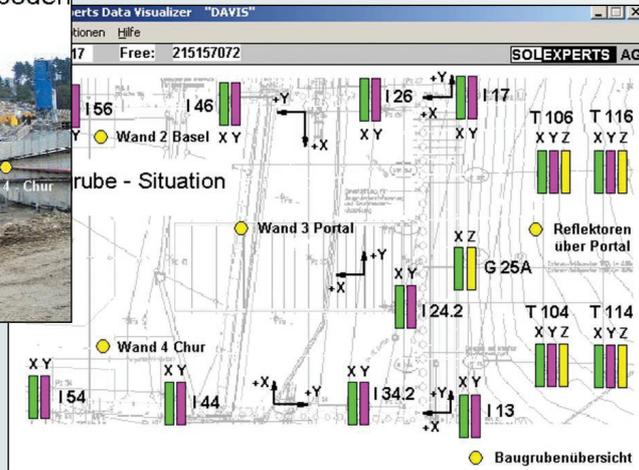
Pour compléter cette surveillance automatique, des mesures manuelles sont effectuées pour s'assurer de la stabilité du talus et des parois de la tranchée. Quatre forages verticaux dans le talus, équipés d'un tube TRIVEC, et un forage horizontal dans l'axe du tunnel associant des mesures inclinométriques et au micromètre de forage, permettent de suivre les déformations dans le talus de la tête de tunnel. Des tubes inclinométriques verticaux placés dans les parois berlinoises et dans les pieux sécants permettent de suivre la stabilité des parois latérales de la tranchée.

Pour permettre une parfaite gestion du chantier, les mesures effectuées automatiquement par le système Solexperts-GeoMonitor ainsi que les mesures manuelles sont intégrées sur une même base de données. Cette base de donnée est gérée par le logiciel de visualisation DAVIS. Un jeu de fenêtres permet d'avoir une vue d'ensemble du projet et d'accéder simplement à chaque mesure. Les responsables du projet et le conducteur de travaux ont ainsi à disposition l'ensemble des informations relatives aux mesures géotechniques, rapidement et simplement.



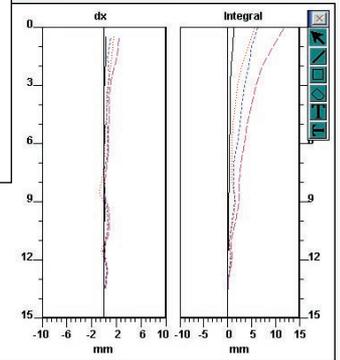
Vue d'ensemble du chantier

Fenêtres Davis :



Implantation des mesures manuelles

Trical-Datel: I13.RSL	
Messung 1:	21.11.2000
Messung 2:	16.12.2000
Messung 3:	23.07.2001
Messung 4:	31.10.2001
Messung 5:	
Messung 6:	



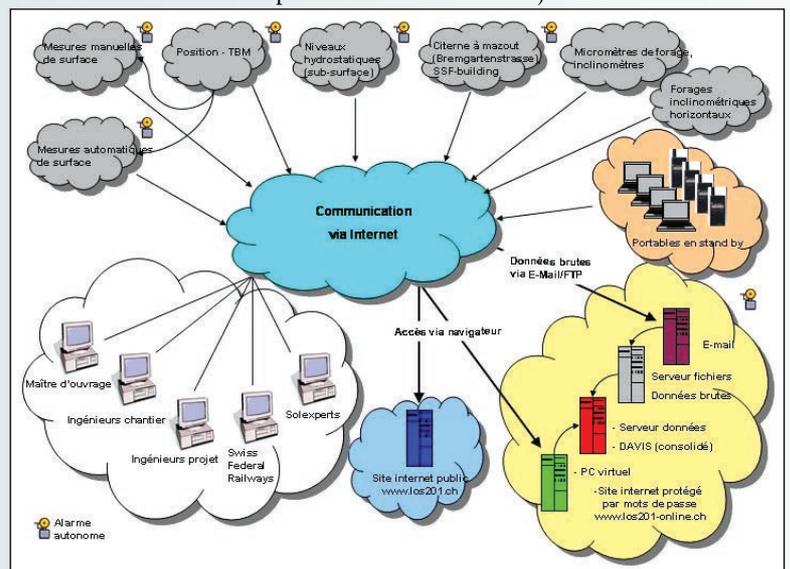
...et mesures de micromètre de forage.

RESULTATS DES MESURES

Les mesures automatiques par tachymètre ont indiqué un déplacement de 2 à 5 mm des parois latérales de la tranchée et un basculement de l'ordre de 10 mm du mur de soutènement du talus. Ces mesures automatiques sont confirmées par les mesures manuelles effectuées par les inclinomètres dans les parois berlinoises et dans les pieux sécants, ainsi que par les mesures au micromètre de forage dans le talus. Le percement des tubes a engendré un tassement de l'ordre de 15 mm dans le talus, mesuré avec le TRIVEC. L'ensemble des déformations est inférieur aux valeurs de seuil. Toutefois, la phase critique pour la stabilité du talus se situe lors de l'excavation finale de la tranchée. Le retrait du soutien central du talus, prévu pour la fin du printemps 2003, pourrait provoquer un glissement de terrain. L'excavation sera alors effectuée en fonction des déformations mesurées afin de ne pas dépasser les valeurs critiques.

La préparation concertée du programme d'auscultation avec le coordinateur chantier a permis d'atteindre les objectifs de sécurité et de conduite du chantier. La combinaison de mesures manuelles et automatiques, ainsi que la gestion des mesures sur une même base de données accessible simplement et rapidement par les responsables du projet et le conducteur de chantier, assurent une utilisation efficace de la surveillance géotechnique pour la conduite du chantier.

Ce principe de gestion des mesures manuelles et automatiques sur un même logiciel de visualisation a été développé dans le cadre du projet de Zimmerberg. Le percement de ce tunnel dans des terrains meubles en milieu urbain, a nécessité une gestion efficace des risques. La conduite du chantier se faisait donc en fonction des informations obtenues par la surveillance géotechnique. La gestion des données s'effectuait via internet grâce au logiciel Web-Davis. L'ensemble des mesures réalisées manuellement (inclinomètre, micromètre de forage, avancement du tunnelier) et automatiquement par GeoMonitor étaient transmises sur un serveur. Les différents partenaires avaient ainsi accès via internet à l'ensemble des données. Le grand public avait par ailleurs accès à une partie des informations.



Principe de gestion des données pour le projet de tunnel du Zimmerberg