

« Lessons learned » à la moitié du chantier

Introduction

Le projet de la station de pompage turbinage Nant de Drance, situé à Finhaut en Valais, a commencé en septembre 2008. La mise en service du dernier des 6 groupes équipés de pompes-turbines Francis 150MW est prévu en décembre 2018. Le projet est maintenant à la moitié de son déroulement. Le budget du projet est de 1,9 Mia de CHF.

A ce jour, au début décembre 2013, les 13 km de galeries d'accès ont été percées et sont fonctionnelles.

3,8 km de galeries hydrauliques sont déjà excavées et en cours de bétonnage. Les 2 bouchons en roches de 30 m pour déboucher au barrage d'Emosson seront percés respectivement en mars 2015 et mars 2016.

Un des deux puits verticaux de 424 m est déjà percé et revêtu. L'excavation de l'autre puits vient juste de commencer. Il est prévu de le terminer complètement en mars 2015.

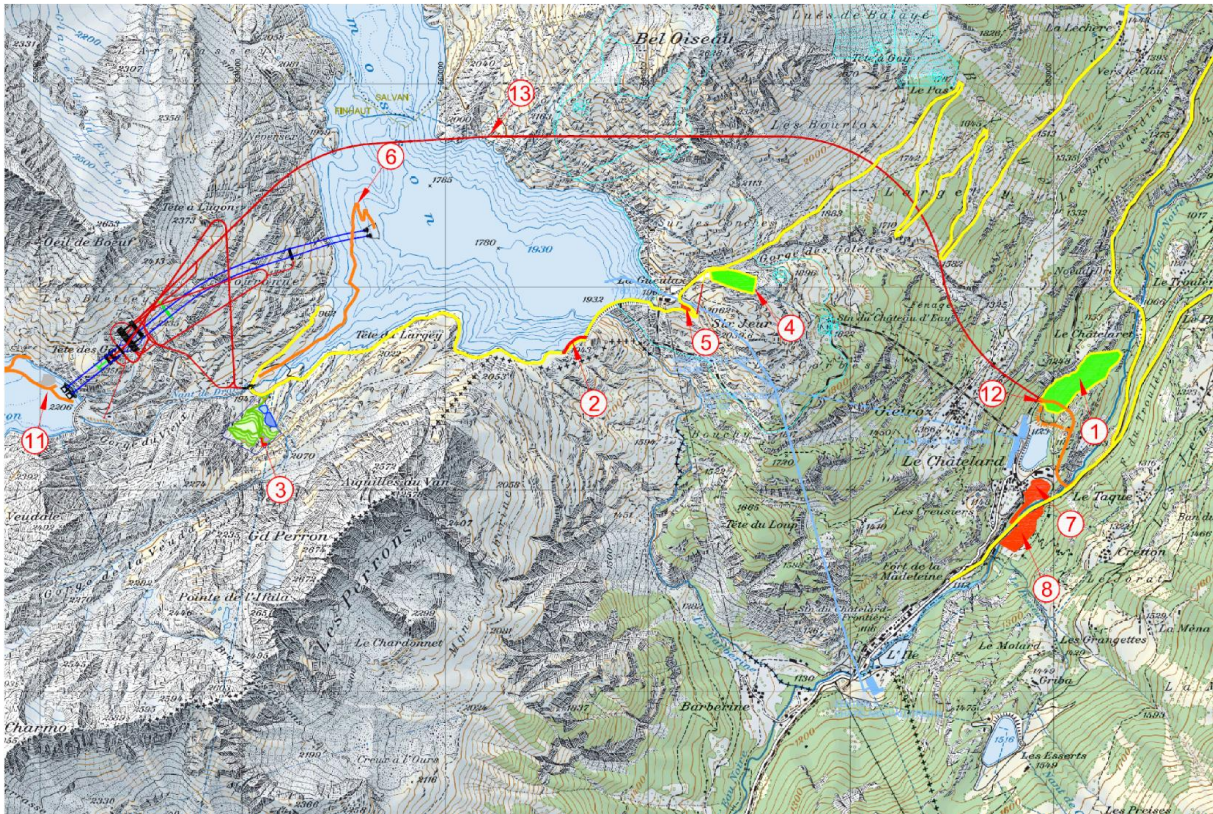
5 grandes cavernes de chantier sont excavées. Elles abritent respectivement le concasseur principal, l'atelier mécanique, la centrale à béton et les ateliers de montage de la chaudronnerie à l'amont et à l'aval de la caverne des machines. Les 2 cavernes des vannes de protection amont et aval sont également excavées et sécurisées. L'arrivée de l'entreprise de chaudronnerie est prévue en janvier 2014.

A ce jour, il reste à finir l'excavation de la caverne des machines et de la caverne des transformateurs. La fin des excavations de ces deux cavernes est prévue en mars 2014. Le bétonnage de cette caverne commencera immédiatement à la fin des excavations.

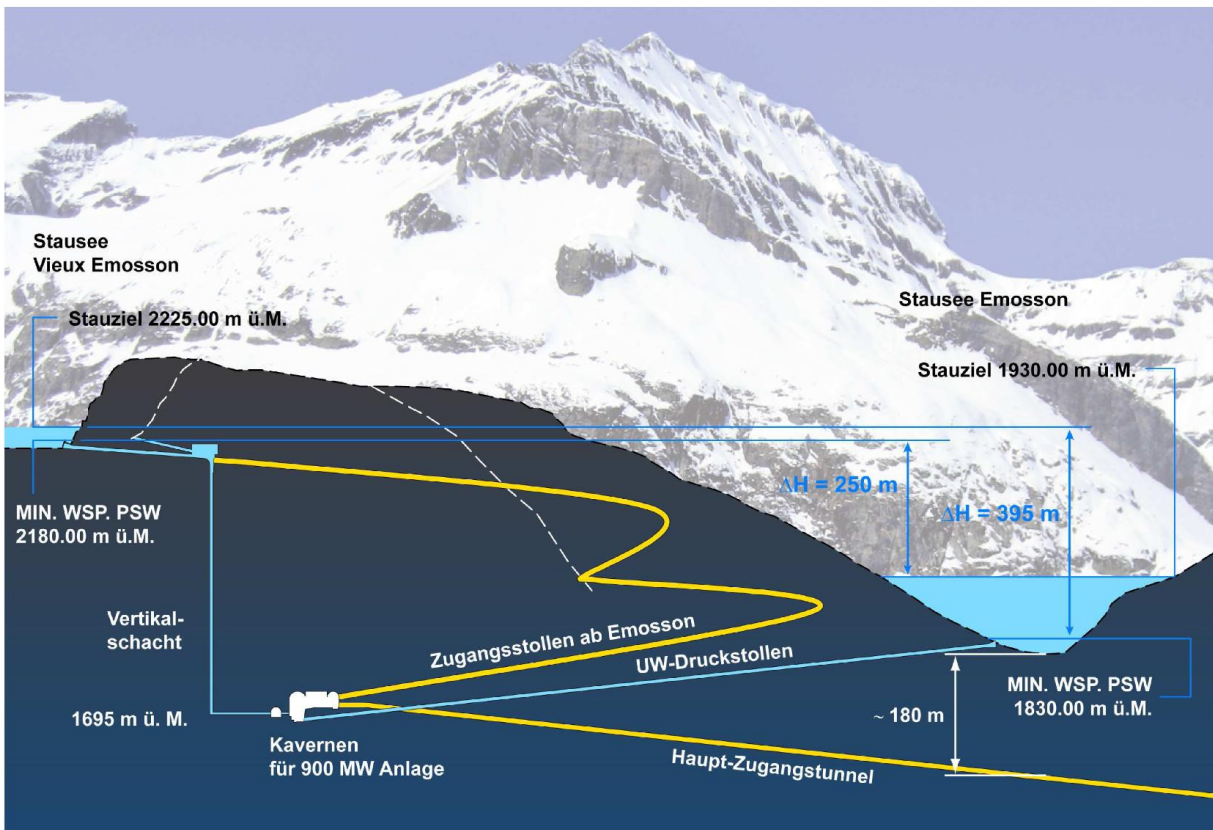
Le projet a atteint la moitié de son déroulement et la phase d'excavation est arrivée à son terme. Il est intéressant à ce stade de revenir sur quelques aspects intéressants du projet.



Prises d'eau amont et travaux de surélévation du barrage du Vieux Emosson. Le barrage d'Emosson est visible à gauche



Carte du projet 1 :25000



Profil en long schématique des galeries hydrauliques

Comportement du barrage d'Emosson 2,5 ans après la traversée de la faille de la Veudale

Les travaux de la galerie d'accès principale ont commencé en janvier 2010 et le tunnelier a atteint la caverne des machines en août 2012. Cette galerie, longue de 5,6 km a une pente quasi constante de 12%. La traversée du système de faille de la Veudale constituait la difficulté majeure de réalisation. La présence de cette faille située à 300 m du barrage-voûte, haut de 180m, d'Emosson était un risque clairement identifié pour le projet Nant de Drance. En cas de drainage trop important du massif rocheux, la vidange des fissures pourrait provoquer un tassement du terrain avec des mouvements horizontaux différentiels entre les 2 rives du barrage voûte.



Failles de la Veudale (3 grands linéaments à gauche du barrage d'Emosson)

Les valaisans gardent en mémoire l'incident survenu en 1975 au barrage du Zeuzier. Ce barrage avait été fissuré par les mouvements induits par le drainage du massif provoqués par les travaux de la galerie de reconnaissance du tunnel du Rawyl, entrepris par le canton Valais. Le lac du barrage du Zeuzier avait dû être vidangé d'urgence et le barrage était resté plus de 2 ans hors service pour être réparé.

Pour prévenir un tel risque le tracé de la galerie d'accès a été adapté pour s'éloigner le plus possible du barrage d'Emosson. La distance horizontale entre le tunnel et le barrage est de

1 km au passage de la faille. Le tunnel se trouve à plus de 600m en dessous du couronnement du barrage.

Avant les travaux le barrage d'Emosson a été mis sous surveillance renforcée, comportant un nivellement de précision de la route d'accès, un réseau de station GPS et des tachymètres automatiques pour mesurer les mouvements relatifs du barrage en temps réel. Par contre aucun forage de reconnaissance n'avait pu être réalisé à travers cette faille avant les travaux. Le consortium GMI (Groupement Marti-Implenia) avait proposé en variante d'entreprise de réutiliser le tunnelier du lot Steg-Raron du Lötschberg. GMI a dû étudier la traversée d'une faille majeure par ce tunnelier roche dure ouvert de 9,45m de diamètre. Le TBM du Lötschberg a été adapté pour pouvoir mettre en place une foreuse pour réaliser des voûtes d'injection 30m devant la tête de la machine.



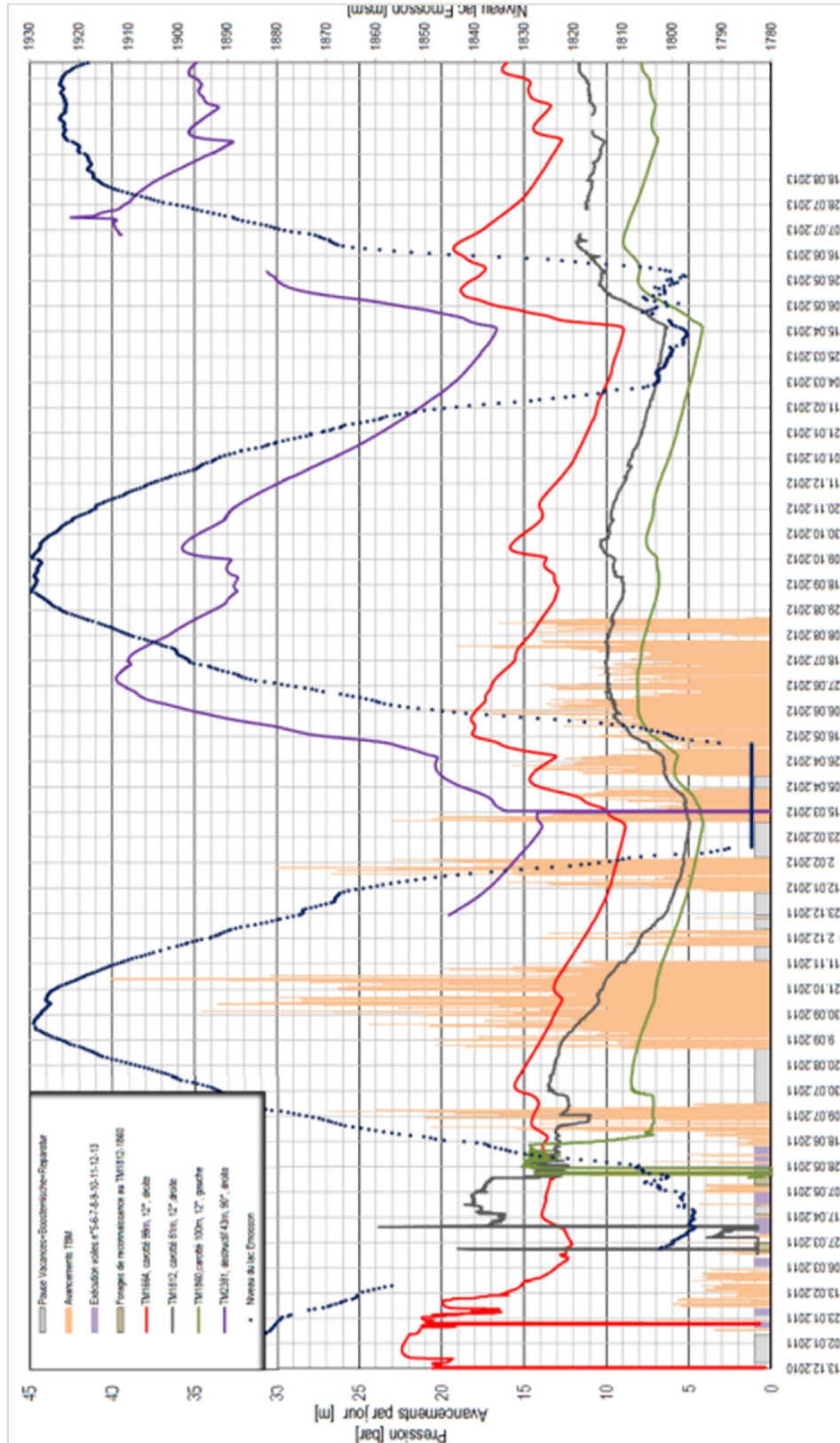
TBM au portail

La première faille de la Veudale a été rencontrée en septembre 2010 dans un forage de reconnaissance destructif de 80m. La pression d'eau mesurée dans le forage était de 32 bars. Les travaux ont été stoppés pour commencer les injections. Les travaux de traversée du système de failles ont duré plus de 10 mois, de septembre 2010 à juin 2011. Pendant ces 10 mois, 4 groupes de 13 voûtes d'injection ont été réalisées. 20 forages de reconnaissance (Lmax=200m) et 10'800m de forage d'injections ont été exécutés. Ces travaux ont été décrits en détail par P. Teuscher [1] qui assura la coordination du groupe de pilotage de ces travaux.

Lors des travaux, une partie des forages de reconnaissance ont été équipés de sondes de mesure de la pression d'eau.

Certaines sondes ont été perdues lors des travaux d'injection mais 3 dispositifs de mesure continuent de fonctionner et permettent de suivre l'évolution des pressions dans le massif rocheux à proximité du tunnel.

Ce système a par la suite été complété par un forage de 50m perpendiculaire au tunnel réalisé au TM2381 pour suivre le niveau piézométrique à l'amont du système (Courbe violette du graphique 1, ci-dessous).



Graphique 1 : Pressions d'eau dans le massif rocheux

L'analyse des mesures de pressions 2,5 ans après la fin des travaux d'injection montre clairement des variations annuelles de plus de 200 m du niveau piézométrique dans le massif rocheux.

Le massif se recharge au printemps lors de la fonte des neiges puis se décharge lentement. Les épisodes importantes de précipitations sont parfaitement observables dans des forages situés 800m sous la surface. Les variations de pression ne sont par contre pas corrélées avec le niveau du lac d'Emosson (Courbe bleue foncée sur le graphique 1, page précédente)

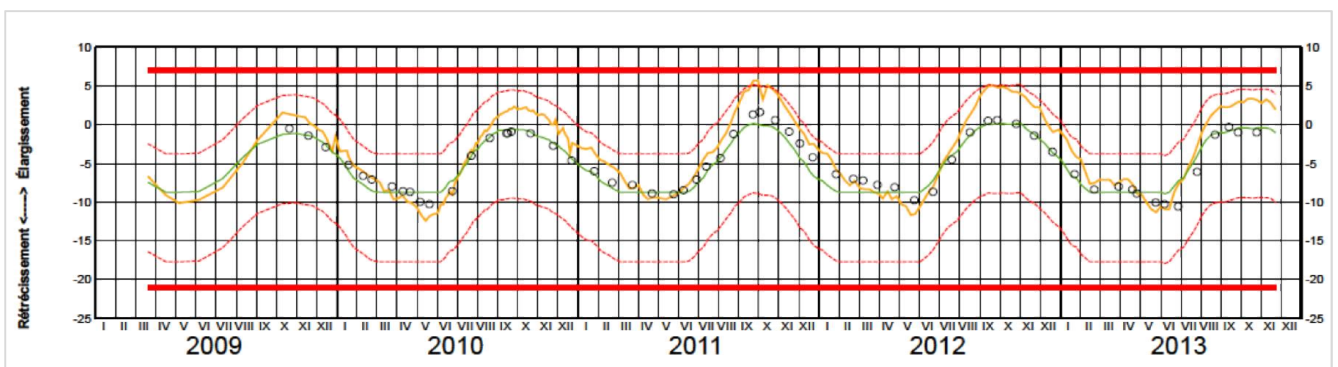
Il semble que celui-ci constitue un réservoir étanche. Après 3 ans d'observations, on peut constater une tendance à la recharge du massif, ce qui laisse présager une évolution positive à long terme, mais il convient d'être prudent sur l'interprétation des résultats en raison du risque élevé en cas de dégât au barrage.

Les différences de pression entre les diverses sondes sont plus délicates à analyser sans une connaissance détaillée des travaux d'injection réalisés effectivement. L'auteur interprète la pression plus élevée dans la sonde du TM1664 (Courbe rouge sur le graphique 1), comme une preuve de la bonne réalisation de la première série de voûte d'injection. Celle-ci constitue un voile étanche limitant le drainage du massif et protégeant aussi le barrage d'Emosson.

Les mouvements relatifs du barrage sont suivis de très près par l'expert du barrage et l'OFEN. Par rapport à la rive droite, la rive gauche du barrage a subi un tassement de 11mm et un déplacement en direction de la faille de la Veudale de 5mm (Courbe jaune du graphique 2, ci-dessous). Le couronnement du barrage montre également un déplacement au niveau de plusieurs pendules en direction de la Veudale. Ce qui est interprété par l'auteur comme le signe d'une baisse de la pression dans la faille.

Les mouvements du barrage ont atteints leur maximum en 2011 et montrent une tendance rassurante à la stabilisation ce qui peut être corrélé avec l'évolution observée dans les sondes de pression d'eau dans la galerie d'accès principale.

Il faudra suivre l'évolution des mouvements du barrage et des pressions d'eau dans le massif rocheux pendant de longues années avant de pouvoir définitivement conclure à une stabilisation définitive de la situation. Toutefois l'auteur constate après 3 ans de suivi qu'un accident type « Zeuzier » a pu être évité grâce aux travaux d'injection entrepris à partir du tunnelier à l'avancement.

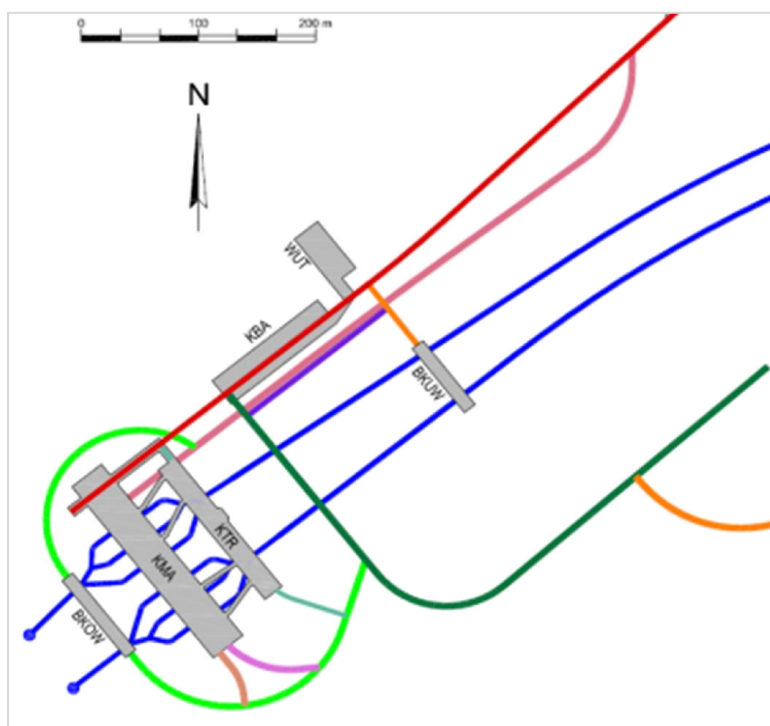


Graphique 2 : Déplacement du flanc gauche du barrage d'Emosson par rapport à son flanc droit (mm)

Les cavernes du projet Nant de Drance

A la fin de la galerie d'accès principale une concentration importante de cavernes de grandes tailles ont été planifiées. Il y a au total 5 grandes cavernes réparties sur une distance de 300m, à savoir en partant de l'aval :

- **BKUW** : Caverne de montage aval du blindage.
L = 69.00m B = 12,30m H = 11,60m.
- **WKS** : Atelier de l'entrepreneur GMI.
L = 52.50m B = 25,50m H = 16,00m.
Cette caverne particulière en raison de la forme assez plate de sa voûte.
- **KBA** : Caverne de démontage du tunnelier qui sert actuellement pour la centrale à béton
L = 115.00m B = 26,20m H = 17,70m.
- **KTR** : Caverne des transformateurs
L = 132.50m B = 18,60m H = 14,70m.
- **KMA** : Caverne des machines qui abritera les pompes-turbines Francis de 150MW
L = 194m B = 32.00m H = 52.00m.
Cette caverne est absolument gigantesque son excavation a commencé en août 2011 et sera achevée en mars 2014.
- **BKOW** : Caverne de montage amont des blindages à proximité des puits verticaux.
L = 87.00m B = 11,30m H = 11,90m.



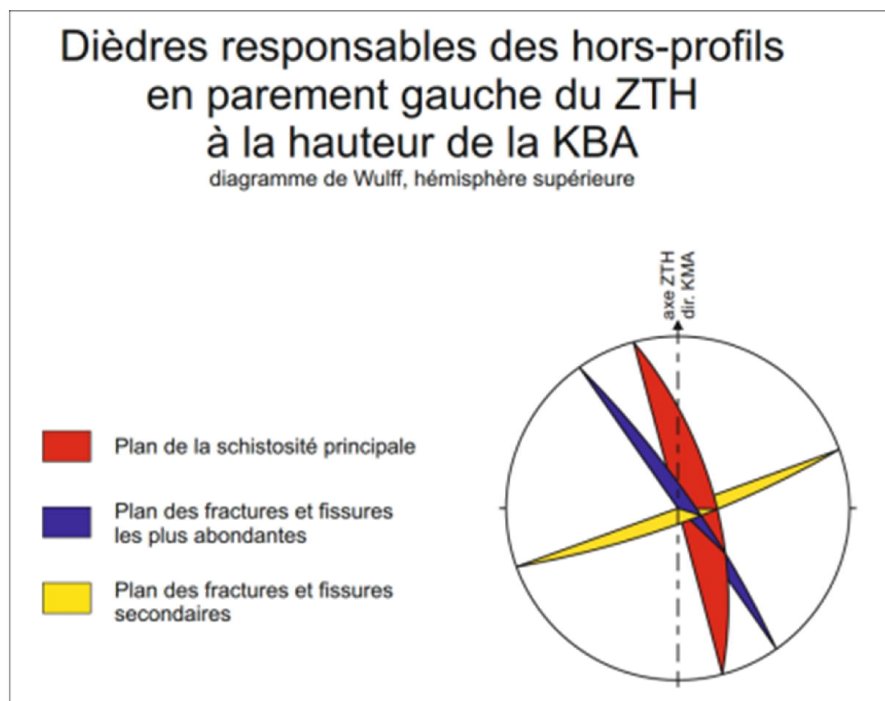
Position des diverses cavernes. L'axe de la galerie d'accès principale(ZTH) est en rouge.

Toutes ces cavernes ont été positionnées perpendiculairement à l'axe de la galerie d'accès principale à l'exception de KBA qui est parallèle puisqu'elle a servi au démontage du tunnelier. L'orientation des cavernes joue un très grand rôle pour leur stabilité.

La position de KMA, KTR, BKOW et BKUW est donnée par l'axe des galeries hydrauliques mais a pu être coordonnée pour être insérée le mieux possible dans les divers plans de discontinuités observés en surface.

Dans ce secteur le massif rocheux encaissant est comparé d'une alternance métrique de Métagrauvache, micaschiste et gneiss schisteux qui sont globalement de bonne qualité (UCS : micaschiste $\sigma_c = 45 \pm 21$ MPa, gneiss $\sigma_c = 78 \pm 40$ MPa).

Lors de l'excavation du ZTH des phénomènes de flambage de couches ont été observés aux parois de l'excavation.



La schistosité est clairement impliquée dans ces déformations comme cela était prévisible sur la base des stéréogrammes. Ce phénomène est probablement encore amplifié par la couverture rocheuse qui est supérieure à 550m dans cette partie du projet. La distinction entre décompression orientée par effet de versant et flambage de couches n'est pas évidente dans la configuration du projet.

En raison du flambage de couches observé dans la galerie d'accès principale, la planification de la caverne KBA, parallèle à l'axe de la galerie d'accès ZTH, a nécessité des mesures spéciales qui sont expliquées en détail dans l'exposé de M. Winter.



Flambage de couches en parement gauche de l'excavation au tunnelier

Excavation de la caverne des machines

La suite de l'article se concentre principalement sur la réalisation de la caverne des machines. Cette caverne est particulièrement bien orientée relativement à la géologie car elle est perpendiculaire à l'axe du ZTH.

L'excavation de cette caverne a été réalisée en 9 étapes, vu sa grande hauteur 52m.

L'étape A1 a été subdivisée en 3, avec l'excavation d'une galerie pilote.

La voûte est stabilisée par des ancrages au mortier L= 6 et 8m mis en place selon un maillage 1,5 x 1,5m.

A partir de l'étape A2, les minages au centre du profil ont été effectués en grande étapes avec des forages verticaux (minages types carrières) les parements ont été menés par la suite avec des forages horizontaux de 5m. Les GSI observés par les géologues sont bons, ils varient entre 65 et 90.

Après l'étape A2, les poutres de support en béton armé (B = 0.60m, H = 1.70m) ont été ancrées au moyen de 360 ancrages précontraints (L = 20m, l_{fr} = 14m et l_v = 6.0m, Po = 1650 KN).



Vue générale de la caverne des machines (KMA)

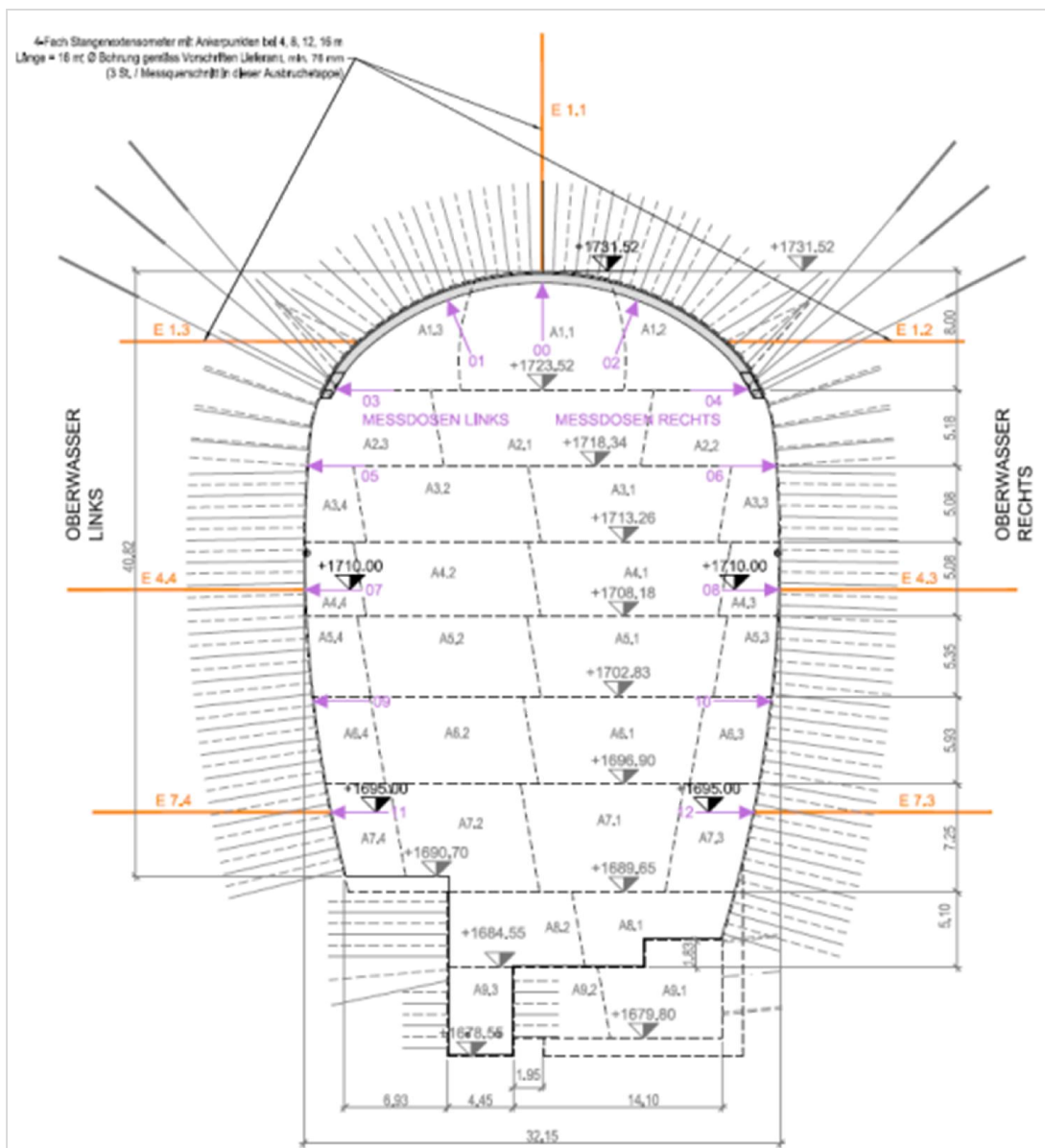
La voûte en béton armé (épaisseur 60cm) a été coulée en étapes de 10m. Puis l'excavation a pu reprendre. Il était initialement prévu de soutenir les parements et les tympans au moyen d'ancrages précontraints, mais le nouveau planificateur a choisi de les remplacer par des ancres au mortier ($L = 8m$) (maillage $1,5 \times 1,5m$) en raison de la bonne qualité de la roche. A la fin de l'excavation des murs en béton armé épais (60cm), seront construits contre les parements jusqu'aux poutres principales (concept « House in House »).

La caverne est instrumentée au moyen de 18 ancres précontraints équipés de cellules de mesures, de 3 sections de 7 extensomètres de 4, 8, 12 et 16m et de 5 sections de contrôle géodésique des convergences. Les mouvements des 2 longrines supportant la voûte sont également contrôlés sur 30 points de chaque côté. Les déformations ont été préalablement calculées aux éléments finis pour dimensionner le soutènement et définir les valeurs d'alarme et d'alerte.

La caverne est extrêmement stable la convergence maximale est de 15 mm en calotte et de 24mm en parement, alors que 90% de l'excavation est déjà réalisée.

Ces mesures montrent la pertinence du concept choisi. Il est probable que les déformations auraient été nettement supérieures si un appui de la voûte du type « pattes d'éléphant » avait été retenu.

A posteriori l'auteur se pose la question si pour des raisons géomécaniques un concept du type « House in House » était absolument nécessaire.



Caverne des machines (KMA) phases d'excavation et positionnement des extensomètres

Référence :

- [1] Teuscher Peter, Pumpspeicherkraftwerk Nant de Drance, Durchfahrung der 450m langen geologischen Störzone « La Veudale » mit einer offenen Hartgesteins-Gripper-TBM, Brenner Congress 21./22. Febr. 2013, Bolzano, in Ernst & Sohn Special : Brenner Congress 2013.