

Les travaux dans une géologie difficile de la galerie de Finges (CH)

Autor(en): **Bartek, Paul / Stempfel, Benoit**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Wasser Energie Luft = Eau énergie air = Acqua energia aria**

Band (Jahr): **94 (2002)**

Heft 5-6

PDF erstellt am: **15.09.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-939631>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern. Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Les travaux dans une géologie difficile de la galerie de Finges (CH)

■ Paul Bartek, Benoît Stempfél

Le résumé

La galerie de Finges-Chippis, longue de 2262 m, fait partie de l'aménagement hydroélectrique du Rhône en Suisse. La galerie est une nouvelle construction juxtaposée à un tunnel vieux de 80 ans dont le revêtement, fait de moellons, se désagrège fortement par endroit. Ceci est provoqué par le délèvement du gypse qui crée des cavités derrière le revêtement.

La nouvelle galerie a une section de 31 m² a été excavée en descendant. Le 17 février 1995, le tunnel a rencontré un accident géologique composé essentiellement de sable, limon et roches broyées avec des venues d'eau dépassant 5000 l/min. Après deux mois de reconnaissances, la décision a été prise de prétraiter toute la section du tunnel par injection. Passé ces difficultés, le tunnel a pu être achevé sans autres problèmes majeurs.

Le succès de la méthode d'exécution choisie a été confirmé en automne 2001 lors de la réception de garantie.

Le Projet

Le contexte

Le tunnel de Finges-Chippis, à écoulement libre d'une longueur de 5033 m, fait partie de l'aménagement hydroélectrique du Rhône construit par Aluminium Industrie AG entre 1905 et 1911. Cet aménagement offre une puissance installée de 48 MW et assure une production annuelle de 245 GWh.

Ce tunnel, construit avec un revêtement de moellons, a subi depuis sa mise en service des dégâts importants. Les problèmes majeurs proviennent de la solubilité du gypse qui forme la roche encaissante de la galerie. Comme le revêtement n'est pas étanche, des infiltrations en provenance de la galerie arrivent localement à rejoindre le réseau karstique préexistant. Contrairement aux écoulements naturels déjà fortement saturés, les eaux de la galerie, peu chargées en éléments dissous, se montrent très agressives et accélèrent l'agrandissement des fissures du rocher.

Cette karstification artificielle, qui évolue très rapidement, prend plus particulièrement naissance au droit des fissures du re-

vêtement et se situe essentiellement, la galerie n'étant pas en charge, sous le radier et derrière les piédroits. A l'emplacement des conduits et cavernes de dissolution, le revêtement s'est alors trouvé localement en porte-à-faux et a cédé inopinément. Des accidents de ce type ont provoqué à plusieurs reprises une augmentation subite et importante du débit des sources situées au pied du versant montagneux, allant jusqu'à provoquer inondation de la route cantonale et des prés environnants.

Le projet de nouvelle galerie

Cette situation est à l'origine de la construction d'un nouveau tunnel d'une longueur de 2262 m, depuis le portail Nord, avec un raccordement sur l'ancienne galerie (Figure 1). Cette solution a été choisie après une étude de variante qui a démontré, que l'assainissement complet du tronçon, avec les pertes d'exploitation de la centrale électrique, était beaucoup trop chère et ne donnait pas la garantie d'efficacité de production à long terme.

Le nouveau tunnel a une section d'excavation de 31 m² en fer à cheval de rayon 3,1 m. L'attaque se fait en descendant avec une pente de 0,6 %.

Le tunnel, après son excavation, sera revêtu d'un béton d'une épaisseur de 30 à 40 cm selon les zones géologiques rencontrées.

L'ancienne galerie sera, après la mise en service du nouveau tunnel, désaffectée et remplie par les matériaux d'excavation.

Les conditions géologiques

Général

Du point de vue tectonique, le massif traversé par la galerie de Finges-Chippis appartient à la nappe pennique du Grand St-Bernard, plus

précisément au secteur où la nappe des Pontis chevauche la Zone Houillère.

Il s'agit d'un domaine géologique complexe, formé entre autre, de roches triasiques connues pour leurs comportements contrastés et diversifiés face aux contraintes d'ordre tectonique.

Ces roches sont essentiellement du type anhydrite (+gypse), cornieules, quartzites et calcaires dolomitiques.

En l'occurrence, la particularité locale réside dans la présence d'une zone très fortement tectonisée – chevauchements et accident géologique (décrochement) – comprise entre de l'anhydrite massive et les calcaires de Beauregard où le projet se raccorde à la galerie existante.

Dès la phase des études, et sur la base des relevés de la galerie existante distante de 100 à 250 m, cette zone tectonisée a été appelée Zone des Ecailles.

Les archives faisaient en effet état, sur plusieurs centaines de mètres, d'une succession de roches triasiques en alternance quasi aléatoire, dont on pouvait redouter une forte tectonisation compte tenu des méthodes d'avancement et de soutènement mises en œuvre à l'époque de la première galerie (méthode belge – section partielle et boisage).

Une zone très complexe et de très mauvaise tenue était donc attendue, sans qu'il soit toutefois possible d'en dresser un modèle prévisionnel détaillé.

Au moment du choix du tracé du nouvel ouvrage, ces conditions générales ont fait opter pour une solution située nettement plus à l'intérieur du massif que la galerie existante, avec le double objectif de bénéficier au maximum de l'anhydrite et de traverser la Zone des Ecailles selon une direction a priori plus favorable.

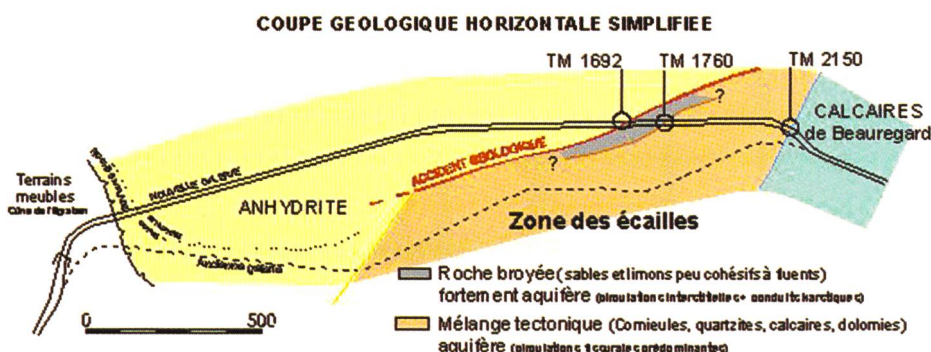


Figure 1. Situation générale et géologie.

Le premier objectif a été atteint au-delà de l'attente, puisque grâce à un accident géologique insoupçonné, la part d'anhydrite est passée de 50 à 80 %.

Pour la Zone des Ecailles en revanche, le gain est plus discutable puisqu'on peut penser que l'approfondissement du tracé a probablement accentué les problèmes liés aux conditions hydrogéologiques.

Il n'en reste pas moins que les très grandes difficultés rencontrées à la sortie de l'anhydrite auraient pu affecter un tronçon de près du double sur un tracé plus externe.

Zone des Ecailles

Les données géologiques de base ne permettaient pas de positionner avec précision la limite entre l'anhydrite et la Zone des Ecailles. Selon la structure du massif, cette limite était annoncée au TM 1170.

En raison de l'accident géologique précité, ce contact ne s'est présenté qu'au TM 1692 en parement droit où l'anhydrite massive a fait place sans transition à des matériaux sablo-limoneux altérés, peu cohésifs et aquifères.

Des forages de reconnaissances, et par la suite l'excavation, ont montré que la Zone des Ecailles pouvait être subdivisée comme suit:

- TM 1692-1760

Tronçon de roche broyée, caractérisée par une très forte hétérogénéité, tant de la nature que des caractéristiques des matériaux.

Aux roches tectonisées attendues (cornieules, quartzites) qui s'y présentent essentiellement sous forme de sable et de limons, s'ajoutent des phénomènes d'érosion interne et de karstification avec notamment des remplissages sableux fluents.

De surcroît, les conditions hydrogéologiques y sont particulièrement défavorables: jusqu'à 3000-4000 l/min par les forages, avec entraînement de matériaux, pressions de l'ordre de 2 à 2,5 bars, eaux fortement séléniteuses (> 1000 mg SO₄/l).

- TM 1760-2150

Mélange tectonique comprenant un tronçon de cornieules variablement tectonisées, puis des calcaires et dolomies fracturés à fragmentés, ainsi que des quartzites et schistes quartzitiques fracturés à mylonitisés.

A l'excavation, cette partie du massif s'est révélée extrêmement complexe, d'où l'appellation «mélange tectonique», cornieules, calcaires, dolomies et quartzites étant distribuées de manière quasi-aléatoire au sein d'une masse sablo-limoneuse relativement compacte, résultat du broyage de la roche.

Par contre, sur le plan hydrogéologique, les conditions, loin d'être favorables, n'étaient toutefois pas aussi critiques que sur le tronçon précédent.

Si les débits en forages restaient importants (jusqu'à 3000 l/min) et étaient parfois accompagnés d'entraînements limités de matériaux (ordre du m³), les circulations d'eau, qui étaient interstitielles ou karstiques dans les matériaux broyés du premier tronçon, devenaient préférentiellement fissurales.

On verra à l'excavation que grâce à la bonne perméabilité des calcaires présents en radier, le niveau de saturation du massif restera en dessous de la calotte.

L'avancement traditionnel

Pour l'adjudication des travaux, le choix de la méthode d'excavation a été fortement conditionné par les conditions géologiques supposées et s'est naturellement porté sur une excavation traditionnelle à l'explosif pour la presque totalité du tronçon. Seule la zone du portail excavée en terrain meuble a été prévue à la pelle hydraulique.

Cette méthode devait permettre de s'adapter à toutes les situations et à de grandes variations géologiques. Elle devait tenir compte également des paramètres géométriques:

- Attaque descendante.
- Profil d'excavation nécessitant de gros engins.
- Largeur de la voie de roulement nécessitant la construction de niches de croisement.

L'excavation s'est fait à l'aide d'un jumbo avec des volées de 2 à 4 m selon la qualité du rocher rencontré. Le soutènement était constitué principalement de boulons Swellex et sur le tronçon de gypse/anhydrite par une croûte de protection en béton projeté de 5 cm afin d'éviter toute altération.

Pour les tronçons de mauvaise tenue, le soutènement était assuré par des cintres réticulés et de béton projeté (par voie humide) de 15 cm armé de fibres métalliques.

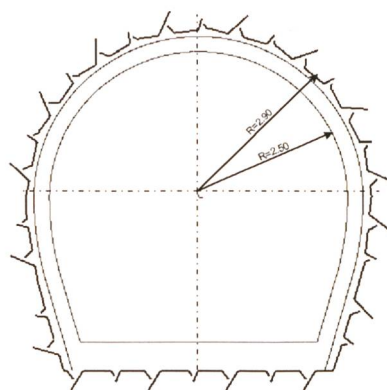


Figure 2. Profil type d'excavation.

Les zones de cornieules ont été excavées à l'aide d'une haveuse afin de mieux maîtriser la stabilité du front et de ne pas occasionner des hors profils trop conséquents. Des cintres réticulés (initialement cintres lourds) posés tous les 0,80 à 1,20 m et un béton projeté de 20 cm d'épaisseur, armé de fibres métalliques, ont constitué le soutènement qui s'est avéré le plus rationnel garantissant la meilleure stabilité de la galerie.

La problématique de la Zone des Ecailles

Le front du tunnel atteignit la Zone des Ecailles le 17 février 1995. Grâce à la prudence de l'avancement (un pilotage systématique au Jumbo a été exigé pour se prémunir contre d'éventuels déboussages), aucun incident n'a eu lieu. Par contre, au vu des matériaux rencontrés, le mode d'excavation devait être changé et de ce fait tous les travaux ont été stoppés.

Très rapidement il a été décidé de procéder à des reconnaissances.

Les mesures prises

Les reconnaissances

En méconnaissance des caractéristiques géotechniques et hydrogéologiques de ces matériaux, une importante campagne de reconnaissance par forages carottés a été mise en œuvre, avec les objectifs suivants:

- Déterminer les caractéristiques géotechniques et hydrogéologiques.
- Evaluer la longueur de la zone tectonisée.
- Etudier si une modification du tracé pourrait réduire les risques ou les difficultés liés au franchissement de la zone.

Ce sont au total 945 m de forages carottés qui ont été exécutés pour la reconnaissance à l'avancement de la Zone des Ecailles.

Sept de ces forages (760 m) ont été exécutés à partir de l'anhydrite, l'un d'eux, à l'axe, ayant été poussé à 253 m.

Parmi eux, trois forages divergents ont été réalisés dans l'optique, qui s'est révélée vaine, d'une éventuelle déviation du projet initial.

Trois forages carottés supplémentaires (total 185 m), exécutés après excavation partielle du tronçon injecté, ont permis de déterminer en connaissance de cause l'extension de la zone nécessitant un traitement par injections.

Le concept de préconsolidation

Malgré les fortes pertes de récupération des forages, dues à l'état de tectonisation des matériaux, les résultats obtenus (nature des matériaux, caractéristiques géotechniques, granulométrie, perméabilité, etc.) sont à la

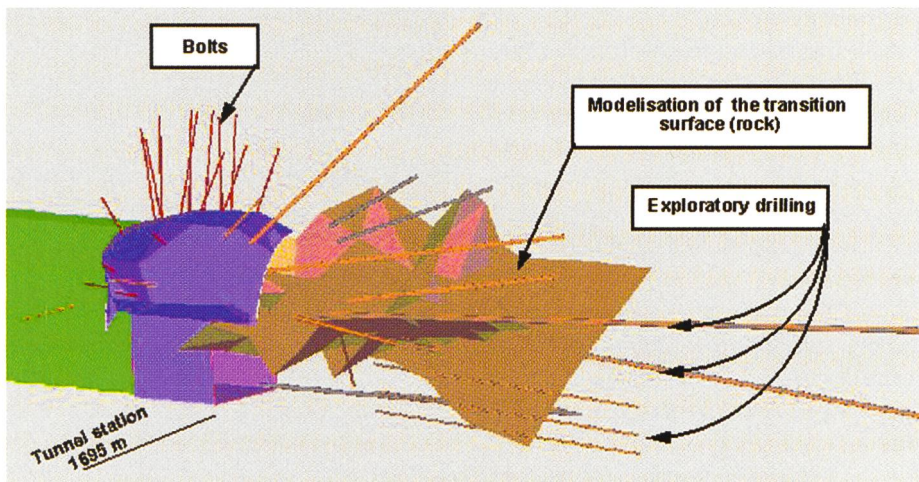


Figure 3. Modèle géologique avec sondages de reconnaissances au TM 1695.

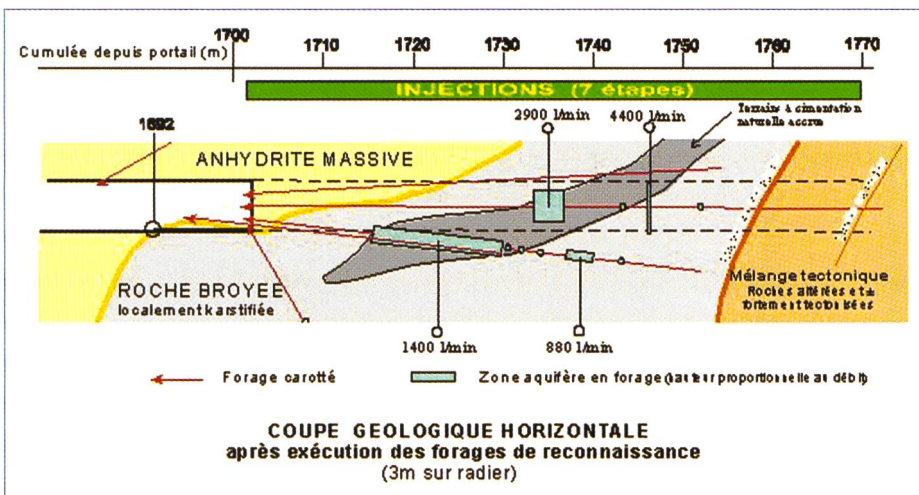


Figure 4. Situation géologique Zone des Ecailles.

base de la conception du principe de préconsolidation-présoutènement. Plusieurs types de traitement ont été étudiés. En particulier, le système Jetting qui s'est avéré non praticable en raison de la grandeur du profil et de la géométrie du tunnel.

Maître de l'Ouvrage, ingénieurs et géologues ont finalement opté pour une combinaison prétraitement/présoutènement comprenant:

- A l'extérieur du profil du tunnel, l'exécution d'une double auréole d'injections par tubes à manchettes métalliques, faisant office à l'excavation de voûte parapluie tant en calotte qu'en parements et radier (sous-pression et stabilité).
- A l'intérieur de la section d'excavation le traitement en plusieurs phases à l'aide de tubes à manchettes PVC.

Cette méthode avait plusieurs objectifs:

- Assécher le front d'attaque.
- Améliorer les caractéristiques géomécaniques des matériaux.
- Garantir à l'entreprise un travail avec des conditions de sécurité optimales.

Afin de garantir une maîtrise de l'injection avec les forages divergents de l'auréole extérieure, la longueur des étapes d'in-

jection a été fixée à 15 m, tandis que celles des étapes d'excavation étaient de 9,60 m, ménageant ainsi un «bouchon de fin d'étape» de 5,40 m.

Schématiquement, la séquence était la suivante:

- Exécution de l'auréole-parapluie (tubes métalliques) et des forages d'injection de la section à excaver (tubes PVC).
- Injection de l'auréole-parapluie et de la section d'excavation (remplissage, suspension et gel dur).
- Exécution de forages de contrôle. Ces forages, plus courts que les précédents et s'arrêtant au début du bouchon de fin d'étape, avaient pour but de vérifier l'absence d'écoulements d'eau dans la future section d'excavation, c'est-à-dire la bonne réussite des injections (étanchéité), de même que la qualité des terrains traités (compacité).
- Exécution – à l'extérieur du corps injecté – des forages drainants dont le but était de réduire au minimum la charge hydraulique au pourtour de l'excavation et donc le gradient hydraulique à travers les matériaux excavés.

Au cours des travaux de forages et d'injection, une attention particulière était

vouée aux venues d'eau. C'est en effet sur ces observations que se décidait le nombre et l'emplacement de forages drainants à l'extérieur de la zone injectée.

L'expérience du passage de la Zone des Ecailles

Prétraitement par injection

Les opérations

Le tronçon injecté a finalement atteint 75 m, soit du TM 1702 au TM 1777.

Au total 7 étapes ont été nécessaires pour passer cette zone. Ces étapes ont toutes été réalisées selon le concept précédent. Tous les travaux d'injection ont été confiés à une entreprise spécialisée.

En préambule des travaux d'injection, le front était consolidé par un mur en béton projeté de 40 cm d'épaisseur.

Les opérations d'une étape se déroulaient de la manière suivante:

- Création d'une rampe de travail au moyen de matériaux d'excavation (remblayage) pour le forage de la partie supérieure du profil.
- Forage de tous les trous d'injection de la calotte du profil.
- Démolition de la rampe et forage de la partie inférieure du profil et du radier.
- Montage d'un échafaudage et injection en trois phases.

Durant l'exécution de l'auréole-parapluie, de très fortes venues d'eau et l'entraînement de matériaux ont été rencontrés. En raison de ces phénomènes, forations et injections de remplissage ont été menées forage par forage, afin d'éviter une trop forte perturbation du massif par érosion.

A chaque étape d'injection, les quantités injectées ont été déterminées sur la base des pressions obtenues et étaient, selon le terrain rencontré, très variables. Les coulis de base n'ont cependant pas été modifiés en cours de traitement. Cette manière de faire a nécessité un suivi scrupuleux de toutes les opérations et un très grand savoir faire de tous les intervenants.

Après chaque phase d'injection, un graphique des quantités et pressions obtenues définissait la stratégie à adopter pour la phase suivante.

Selon les observations faites en cours de forage et d'injection, 10 à 15 forages de contrôles étaient exécutés dans le périmètre injecté. Pour l'ensemble des étapes, ces forages ont pu donner l'assurance de l'efficacité de l'injection. En effet, rares étaient les trous où des filets d'eau apparaissaient. Les débits estimés restaient en dessous de quelques litres par minutes.

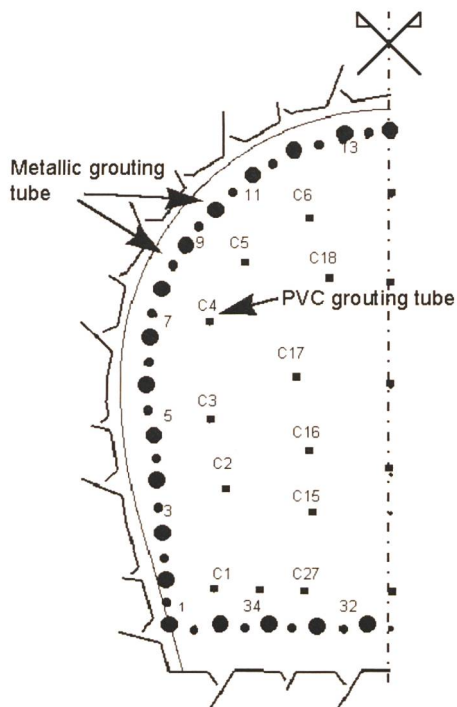


Figure 5. Schéma d'injection.

Les chiffres

Environ 100 à 110 forages d'injection ont été exécutés par étape (selon les conditions géologiques et hydrogéologiques), ce qui représente environ 1500 à 1650 m, soit 170 m de moyenne par m¹ de tunnel!

Au total 3 700 000 litres de coulis d'injection ont été utilisés. Pour l'étape la plus délicate (étape 4), 930 000 litres ont servi pour 10 m d'excavation, soit 93 000 l/m courant de tunnel. Les pressions maximales obtenues ont été de l'ordre de 25 à 30 Mpa.

Une étape complète de forage et d'injection nécessitait environ 50 jours de travail à deux équipes.

Le drainage du front

L'ultime phase avant l'excavation était l'exécution des forages drainants. Cette opération a nécessité, pour toutes les étapes, la reconstruction d'une rampe, ceci afin de garantir à l'équipement de forage, qui pour des raisons d'exiguïté du tunnel n'a pu être choisi pour couvrir l'ensemble du profil une inclinaison idéale.

Ces forages qui avaient en moyenne une longueur de 20 m, ont permis de chercher l'eau à l'extérieur du profil injecté et surtout de diminuer les quantités rencontrées lors du forage de l'étape suivante.

Ce dispositif drainant a été maintenu aussi longtemps que possible afin de garantir une meilleure maîtrise de l'évacuation de l'eau.

Considération sur le matériau injecté

Dans la zone injectée, les mesures prises se sont avérées efficaces et justifiées.

Les quelques problèmes rencontrés, en cours d'excavation, ont en effet montré que le système adopté n'était pas surdimensionné.

L'excavation a permis de préciser les conditions géologiques locales déduites des forages de reconnaissances.

Elle a, en particulier, confirmé la très faible perméabilité interstitielle naturelle des matériaux en présence et la nette prépondérance des matériaux rocheux broyés sur les remplissages d'origine karstique.

Bien que l'identification formelle des divers produits d'injection se soit avérée très difficile, la présence de poches de coulis de remplissage a confirmé l'existence, au sein de ces matériaux compacts, de vides créés

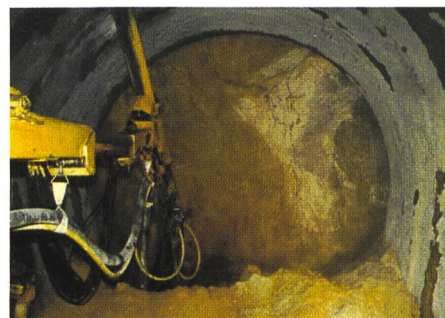


Figure 7. Vue du front durant l'excavation.

par l'érosion générée par les écoulements d'eau dans le massif (naturels et induits par les forages).

Entre ces chenaux, l'amélioration de tenue a été obtenue essentiellement par claquage, c'est-à-dire par serrage, les réelles imprégnations étant restées très limitées.

Dans ces circonstances, l'effet des drainages à l'extérieur du corps injecté n'en était que plus important, sinon fondamental. Les terrains traités restaient en effet très vulnérables aux écoulements, en particulier aux forces hydrodynamiques, en d'autres termes aux phénomènes d'érosion interne.

A plusieurs reprises, de tels écoulements ont été observés, avec développement régressif d'amorces de chenaux. Leur traitement très rapide au moyen d'injections de mousse – tous les équipements nécessaires à disposition, au front d'attaque pendant l'avancement – a permis de maîtriser à chaque fois la situation avant que les déséquilibres ne gagnent en ampleur.

L'excavation

Les opérations

La phase d'excavation suivait la démolition de la rampe et du mur en béton projeté du front.

L'avancement se faisait prudemment par tranche de 80 cm, suivait directement le gunitage du front afin d'assurer la stabilité durant la pose du cintre réticulé avec étrésoillon en radier, le béton projeté avec fibre d'une épaisseur de 20 cm était appliqué immédiatement après.

Plusieurs instabilités localisées en parement ou au front, notamment sous forme d'écoulements avec entraînement de matériaux fins (renards), ont dû être maîtrisées en cours d'avancement, le plus souvent par injections ponctuelles de mousse polyuréthane.

Ces opérations se déroulaient sans interruption afin d'éviter tout problème de stabilité du front.

La fin de l'étape d'excavation était fixée préalablement et selon les circonstances a du être raccourcie ou a pu être ral-

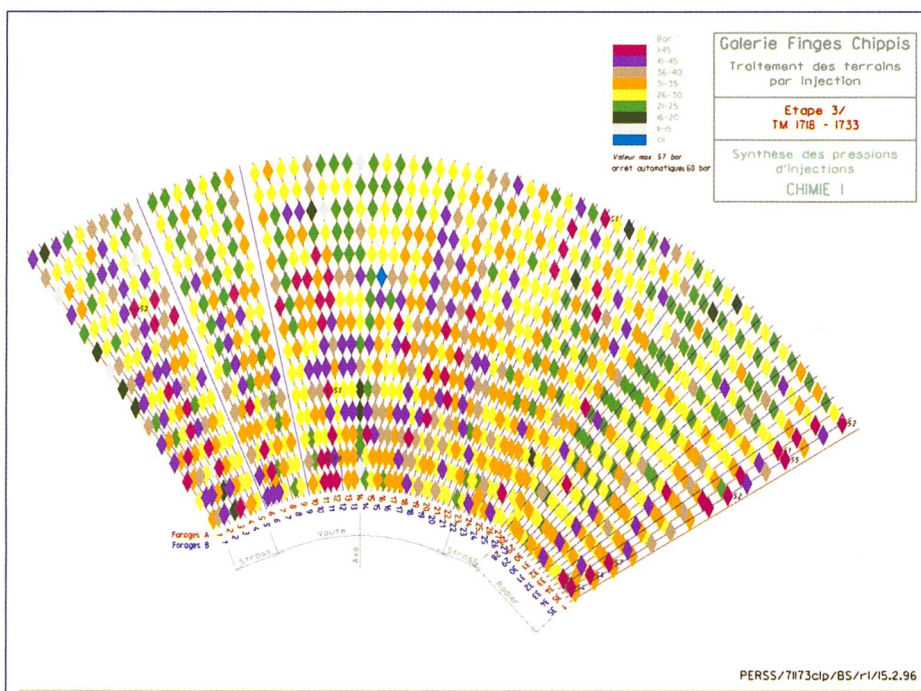


Figure 6. Graphique des quantités injectées.

longée. L'une des étapes (étape 3) d'injection a tout de même dû être raccourcie suite au développement d'un renard au front, qui menaçait l'étanchéité du bouchon de fin d'étape.

Au terme de l'excavation, on peut donc affirmer que l'opération a été réussie, mais avec une marge de sécurité parfois fort restreinte.

Délais et coûts

Une opération complète d'excavation et soutènement prenait en moyenne 8 jours pour 10 m, soit 0,80 m/jour.

Pour une étape et pour l'ensemble des opérations d'injection et d'excavation, environ 60 à 65 jours étaient nécessaires, soit environ 0,15 m/jour.

Les coûts par m¹ de tunnel, toutes opérations comprises (début à début de forage pour injection), ont été en moyenne de Frs. 92 000.- /m¹.

Le revêtement

La particularité du coffrage

Le coffrage utilisé pour la mise en place du béton de revêtement est un coffrage métallique composé d'éléments de 1,388 mètres, et assemblés de façon à former 2 éléments de 12,50 mètres.

Pour des raisons de logistique, le bétonnage a dû être entrepris en montant depuis la fin de la galerie. Aussi le premier élément de coffrage monté sur des rails et posés sur le pré-radier est replié sur lui-même. Par un rail supérieur, il peut être déplacé à l'avancement à travers l'autre élément de coffrage déjà en place pour l'étape de bétonnage suivante.

Les travaux de bétonnage

Le béton a été fabriqué en centrale installée sur le chantier. Pour le bétonnage des pieds

de parement, le vibrage du béton se faisait de manière traditionnelle avec des aiguilles vibrantes introduites par les volets qui étaient fermés au fur et à mesure que le niveau du béton arrivait à leur hauteur.

Pour la voûte, les vibrateurs fixés sur le coffrage étaient enclenchés en cadence selon un ordre précis.

Le décoffrage avait lieu au minimum 24 heures après le bétonnage. Le travail à 2 équipes permettait en général le bétonnage d'un élément chaque jour.

L'aspect des éléments bétonnés a posé nombre de problèmes à l'entreprise et aux ingénieurs. Tout d'abord, une fissuration de retrait excessive est apparue longitudinalement et transversalement sur les blocs de béton, certaines étant traversantes. La multiplicité des causes (épaisseur du béton dû aux hors profils, recette de béton, qualité du ciment résistant aux sulfates, longueur des étapes, mise en œuvre, temps de décoffrage, cure du béton,...) n'a pas permis de trouver simplement une action corrective. Pour des raisons de délais, les travaux n'ont jamais été interrompus. Une fissuration modérée a été finalement obtenue en modifiant la sorte de ciment (ciment plus grossier), en remplaçant partiellement le liant par des cendres volantes et en maintenant la température du béton frais la plus basse possible.

Un bullage important sur les parements où l'épaisseur de béton est supérieure à 80 cm ressortait du coffrage. La cause essentielle était le mode de bétonnage ainsi que le nombre de vibrateurs incorporés au coffrage qui a été augmenté de 54 à 68 pièces par élément de coffrage de 12,50 m. Après la mise en œuvre de ces mesures, les bulles sortant de l'échantillon de référence ont été bouchardées.

Les délais de réalisation

Les travaux ont débutés en avril 1993 et après 2 mois d'installation et de travaux préparatoires, l'excavation a commencé.

Les travaux en souterrains se sont déroulés comme suit:

| | |
|------------------------------------|---------|
| Excavation en terrain meuble 200 m | 8 mois |
| Excavation en Anhydrite 1500 m | 11 mois |
| Forages de reconnaissances TM 1700 | 2 mois |
| Excavation/Injection 80 m | 21 mois |
| Excavation en Cornieules 480 m | 9 mois |
| Montage du coffrage de l'anneau | 2 mois |
| Revêtement de la galerie | 10 mois |
| Travaux de raccordement | 4 mois |

Conclusion

La galerie était confrontée – entre anhydrite et calcaires de Beuregard – à un massif très fortement perturbé, pratiquement imprévisible à l'échelle de l'avancement et exposé

à des conditions hydrogéologiques redoutables, à fortiori pour un avancement descendant.

Si dans le détail, il manquait beaucoup d'éléments pour dresser un modèle précis – l'excavation montrera que toute tentative aurait été vouée à l'échec – une chose était toutefois certaine: la zone broyée s'étendant à l'axe jusqu'au TM 1760 ne pourrait pas être franchie sans prétraitement du terrain.

Les venues d'eau de plusieurs milliers de l/min par des chenaux d'écoulements préférentiels et la faible cohésion des matériaux sablo-limoneux résultant du broyage de la roche, interdisaient tout simplement un avancement sans mesures spéciales: risques de débouffages, d'instabilités du front, de la calotte, voire même du radier, irruptions massives d'eau, etc.

L'ensemble de ces travaux a été terminé en novembre 1996, soit 21 mois après la rencontre de cette accident.

L'expérience vécue a permis de tirer plusieurs conclusions:

- Le choix d'une méthode d'excavation traditionnelle était judicieux, les conditions rencontrées n'auraient pas permis l'utilisation d'un tunnelier.
- De par leurs mauvaises caractéristiques géomécaniques et leur position stratigraphique, qui leur confèrent un rôle très particulier dans la géologie alpine, ces formations triasiques resteront redoutables pour les constructions souterraines, du fait de leur tectonisation et de leur imprévisibilité.
- Ces difficultés ont pu être maîtrisées grâce à une très grande rigueur et un savoir faire des intervenants et surtout à la très bonne collaboration entre les participants.

Principaux éléments du marché

Maîtres d'ouvrage: Rhowag, Chippis
Ingénieurs conseils études: Stucky Ingénieurs-Conseils SA, Lausanne
Direction des travaux: Perss Ingénieurs-Conseils SA, Sion
Géologue: Norbert Géologues-Conseils SA, Lausanne
Délai de réalisation de l'ouvrage: 1993–1998
Début des travaux: avril 1993
Montant: Sfr. 43 mio
Enterprises: Schmalz SA, Walo Bertschinger SA, Gebrüder Zengaffinen, Steg.

Adresse des auteurs

Paul Bartek, Rhonewerke AG, CH-3965 Chippis.
 Benoît Stempfél, Perss Ingénieurs-Conseils SA, Route du Levant 8, CH-1709 Fribourg.

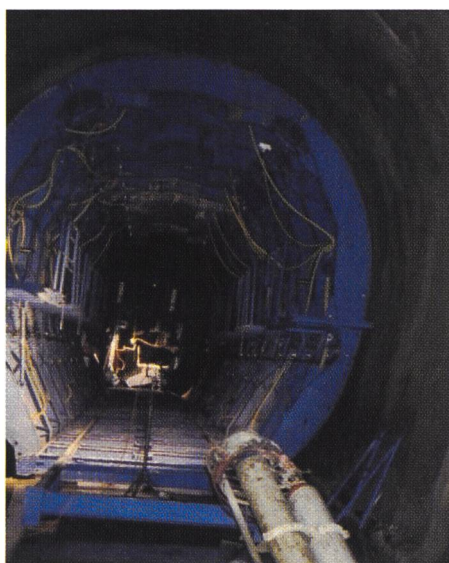


Figure 8. Coffrage télescopique.