



Schweizerische Eidgenossenschaft  
Confédération suisse  
Confederazione Svizzera  
Confederaziun svizra

Office fédéral des routes

# TECHNIQUE INNOVANTE D'ASSAINISSEMENT DE TUNNEL

## Projet pilote d'assainissement du tunnel 3 et 5



Journée d'Etude de la Route et des Infrastructures

J E R I

[autobahnschweiz.ch](http://autobahnschweiz.ch)  
[autoroutesuisse.ch](http://autoroutesuisse.ch)  
[autostradasvizzera.ch](http://autostradasvizzera.ch)



# UPLANS TAVANNES – BÖZINGENFELD

0. Présentation des participants
1. Problématique de base (OFROU)
2. Le projet pilote du T3 (IUB)
3. Bilan à ce jour (OFROU)
4. Suite du projet (IUB)
5. Questions (OFROU & IUB)



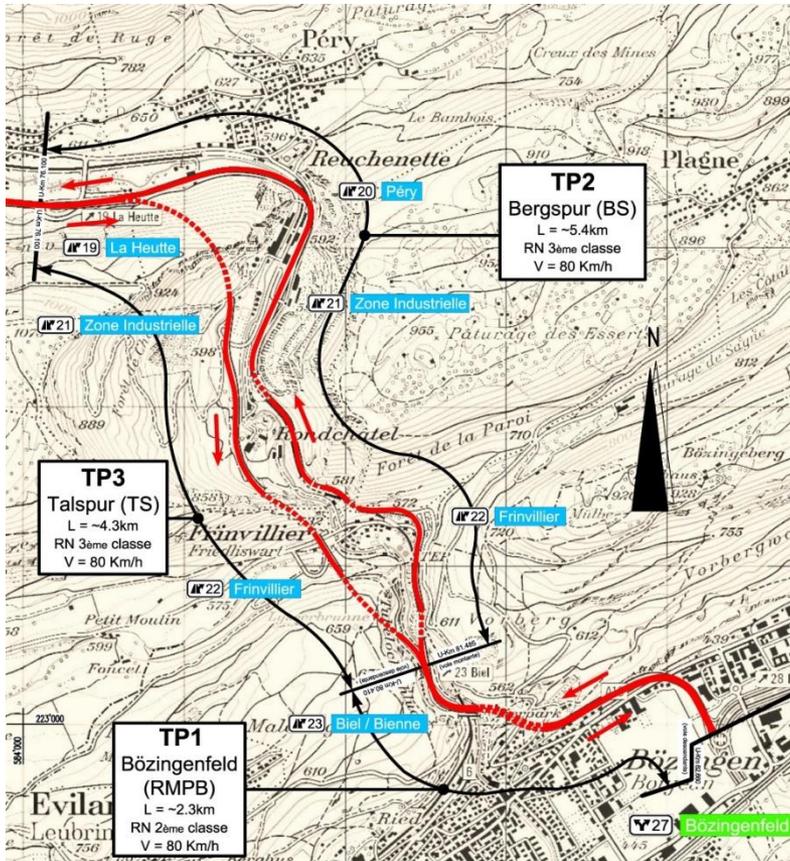
## 0. Présentation des participants

- Laurent Brugger – Chef de projets à l'OFROU région nord à Estavayer-le-lac
- Emilie Simonin – Chef de projets IUB Engineering à Givisiez



# 1. Problématique de base (UPN Tavannes-Bözingenfeld)

En Suisse, de nombreux tunnels ont été construits sans étanchéité !



Dans le cas de la N16 cela concerne :

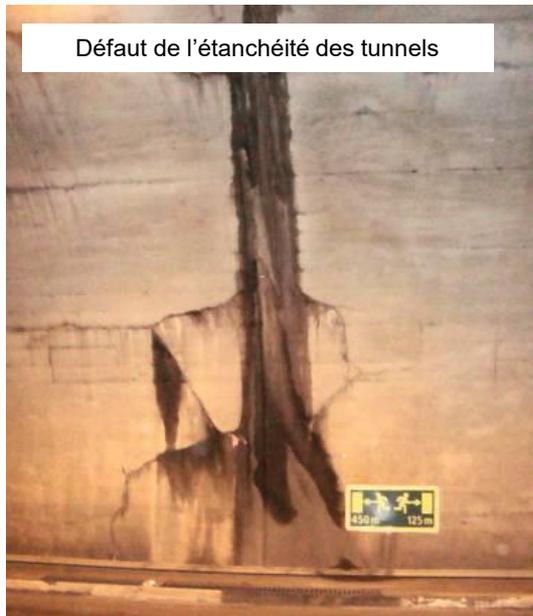
- Les tunnels entre Bözingenfeld et Bienne nord, mis en service en 1975  
T1 446m  
T2 402m
- Tous les tunnels de la voie montante entre Bienne nord et La Heutte, mis en service en 1970  
T3 196m  
T5 123m  
T7 114m  
T9 241m



# 1. Problématique de base

Conséquence de l'absence d'étanchéité :

- Avec le temps, des infiltrations d'eau apparaissent
- Formation de glace en hiver (danger pour les usagers nécessitant de fréquentes interventions de l'entretien)





# 1. Problématique de base

Solutions techniques pour remédier à ce problème de base :

➤ **Injection des fissures :**

*Facile à mettre en œuvre aussi sous trafic, difficulté d'éviter de nouvelles infiltrations (l'eau trouve un autre chemin), étanchéité à 100% très difficile à obtenir, mise en charge de la voûte si un phénomène d'accumulation d'eau se produit avec risque d'effondrement de la voûte (tunnel de Melide).*

➤ **Réfection totale de la voûte** (démolition puis reconstruction avec mise en place d'une feuille d'étanchéité) :

*Méthode éprouvée, résultat garanti, impossible à réaliser sous trafic, longue durée de fermeture du tunnel. Méthode appliquée sur le T1 et T2.*

➤ **Rabotage de la voûte** (rabotage partiel de la voûte puis reconstruction d'une nouvelle voûte avec mise en place d'une étanchéité) :

*Etanchéité garantie, possibilité de travailler de nuit avec réouverture du tunnel avec deux voies de circulation, faisable sur le papier.*



## 2. Le projet pilote du T3

Vérifier la faisabilité des solutions techniques à savoir :

➤ **Rabotage :**

*Sécuriser suffisamment la voûte avant de la raboter.*

*Avoir des entreprises aptes à réaliser ce genre de travaux plus particulièrement au niveau de l'engin de rabotage.*

➤ **Étanchéité (projetée et feuille) :**

*Projet pilote par la mise en place d'étanchéité projetée.*

*Comportement de la feuille en présence de trafic suite à la réouverture au trafic du tunnel durant la journée.*

➤ **Gestion trafic :**

*Vérifier la faisabilité de rouvrir chaque matin au trafic avec deux voies de circulation avec notamment la présence d'un cintre de coffrage dans le tunnel.*

➤ **Planification :**

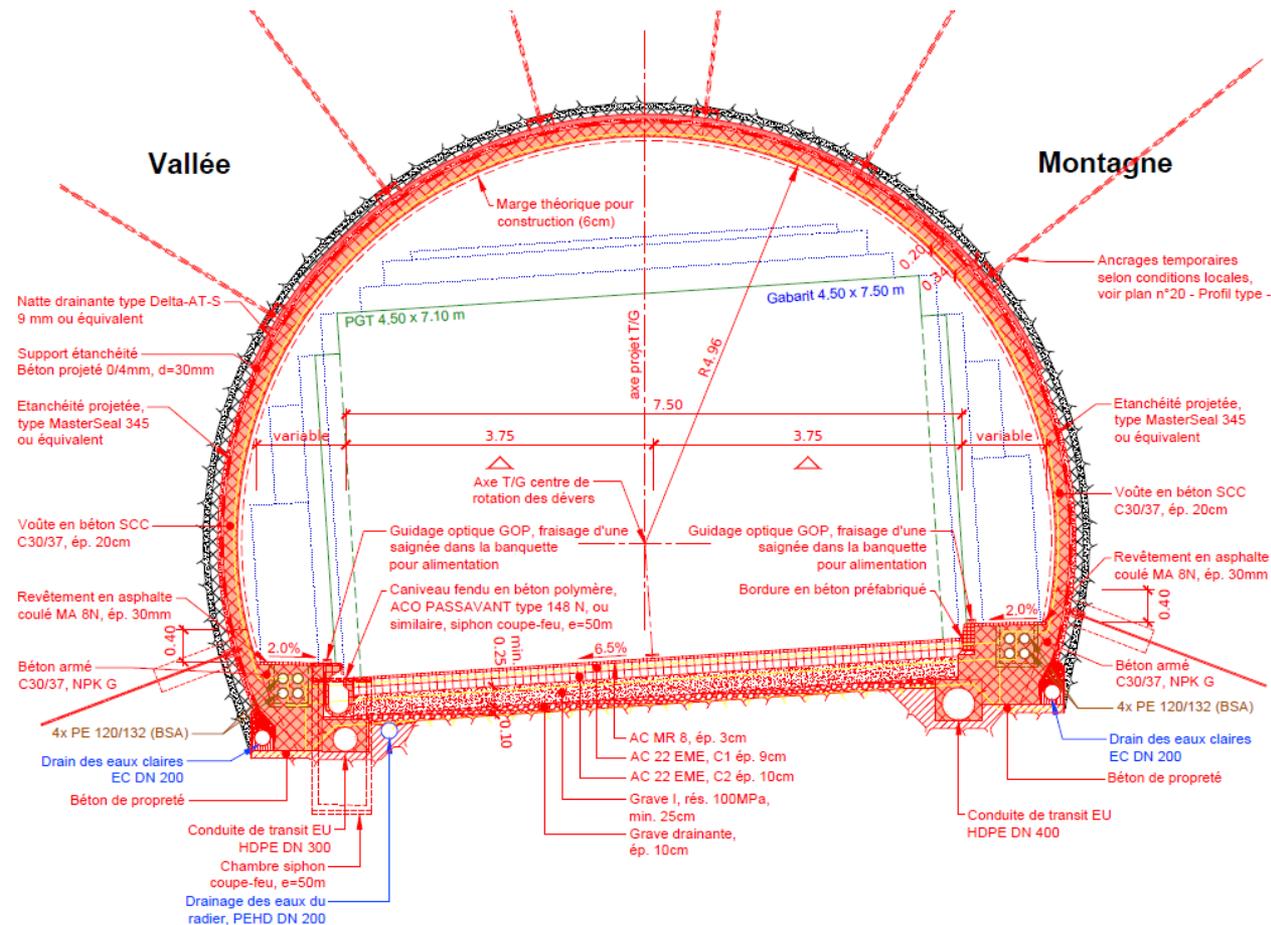
*Vérifier la faisabilité afin d'assainir le T3 en une année.*



## 2. Le projet pilote du T3

Principales étapes :

- Sécurisation de la voûte
- Rabotage de la voûte
- Démolition et reconstruction des banquettes
- Mise en place du drainage et de l'étanchéité
- Bétonnage de la nouvelle voûte
- Réfection de la chaussée
- Démolition et reconstruction complète des portails
- Peinture, équipements BSA

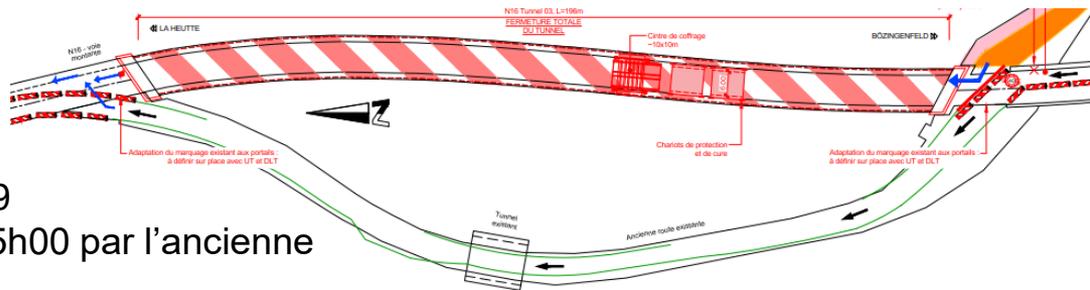




## 2. Le projet pilote du T3

### Gestion trafic

- Travaux du 1<sup>er</sup> avril au 1<sup>er</sup> décembre 2019
- Déviation du trafic la nuit entre 20h30 et 5h00 par l'ancienne route, 5 nuits / 7
- Réouverture du tunnel le jour avec deux voies de circulation
- 3 weekend de fermeture de la voie montante (Opérations coup de poing)



Déviation du trafic de nuit



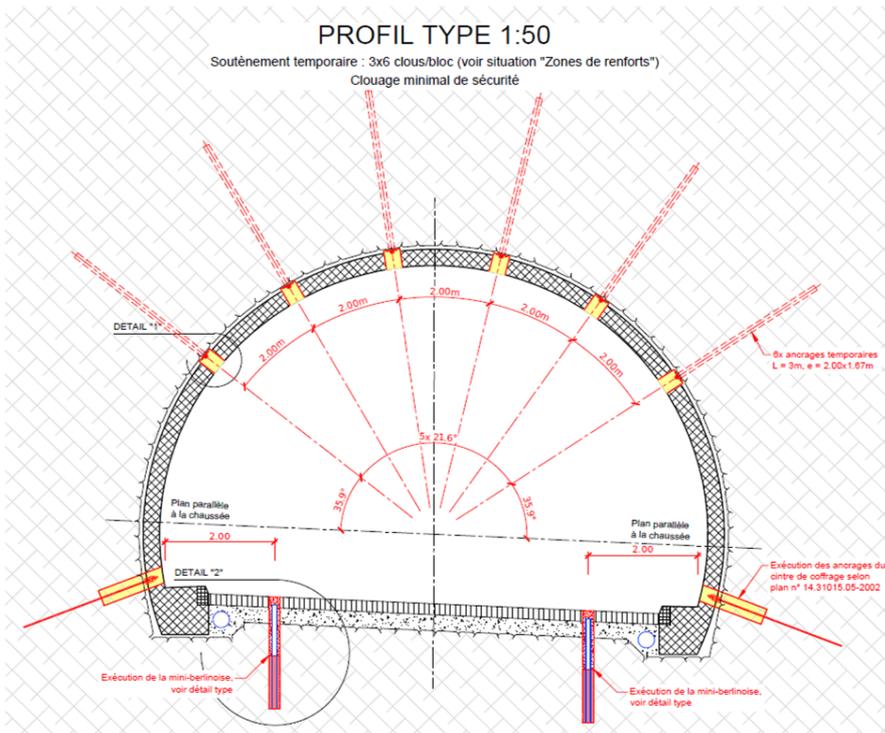
Trafic de jour à 2 voies dans le tunnel



## 2. Le projet pilote du T3

### ➤ Sécurisation de la voûte

Confortement systématique de la voûte du tunnel par ancrages passifs

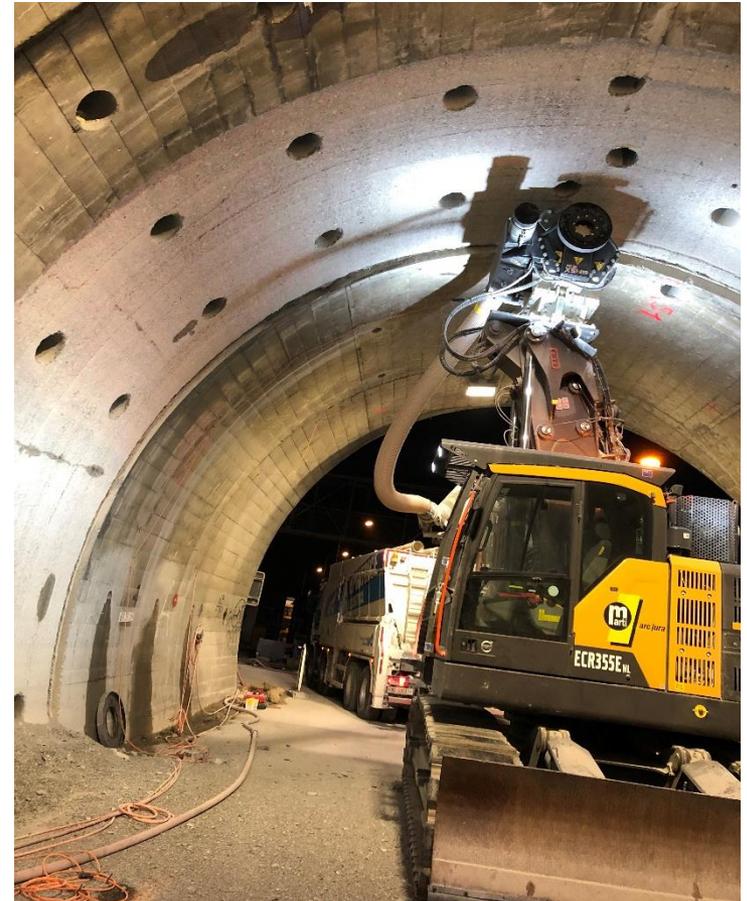
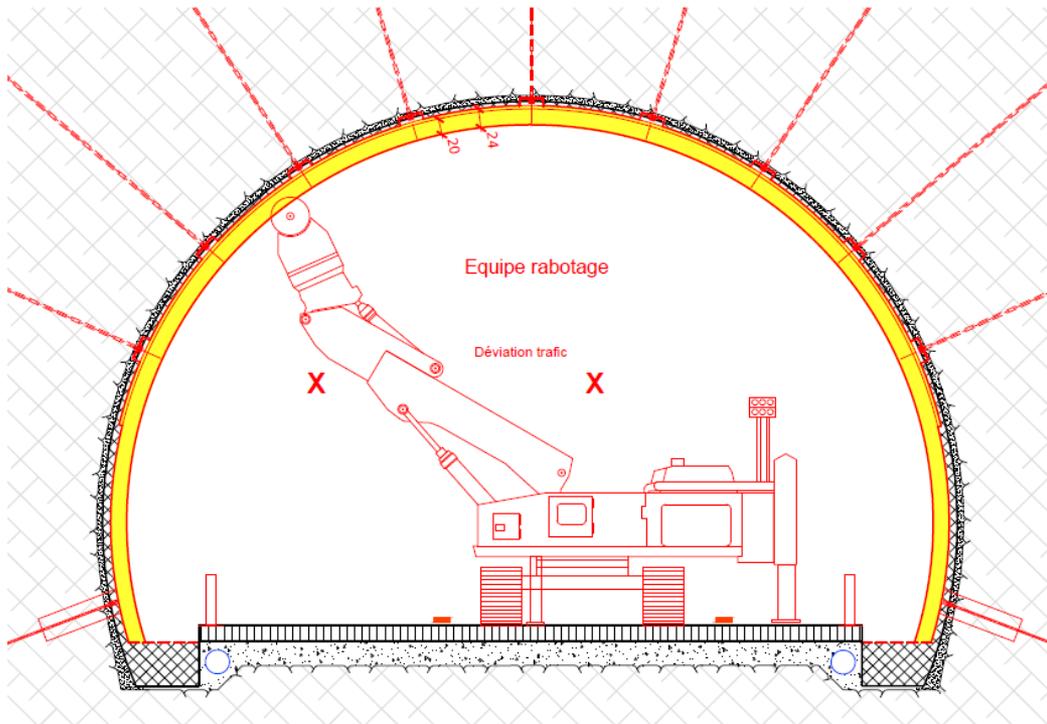




## 2. Le projet pilote du T3

### ➤ Rabotage de la voûte

Démolition partielle de la voûte non armée par rabotage, 20 à 24 cm d'épaisseur (*épaisseur théorique de la voûte existante 30 cm*)



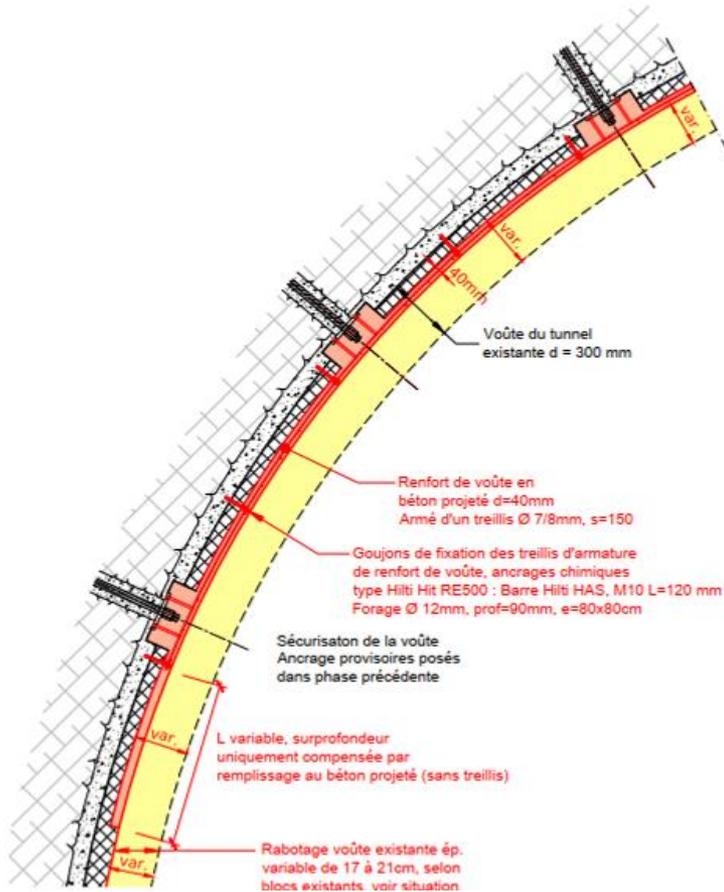




## 2. Le projet pilote du T3

### ➤ Rabotage de la voûte

Confortement systématique en calotte avec treillis + béton projeté pour assurer la sécurité du trafic

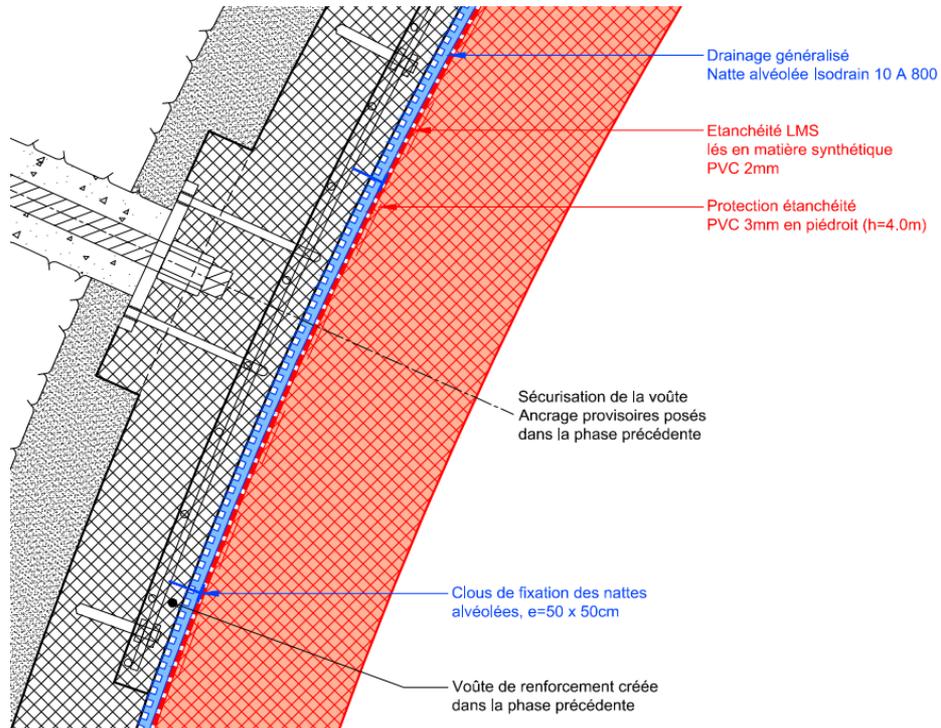




## 2. Le projet pilote du T3

### ➤ Drainage et étanchéité

Partie Sud : Natte drainante + Etanchéité LMS

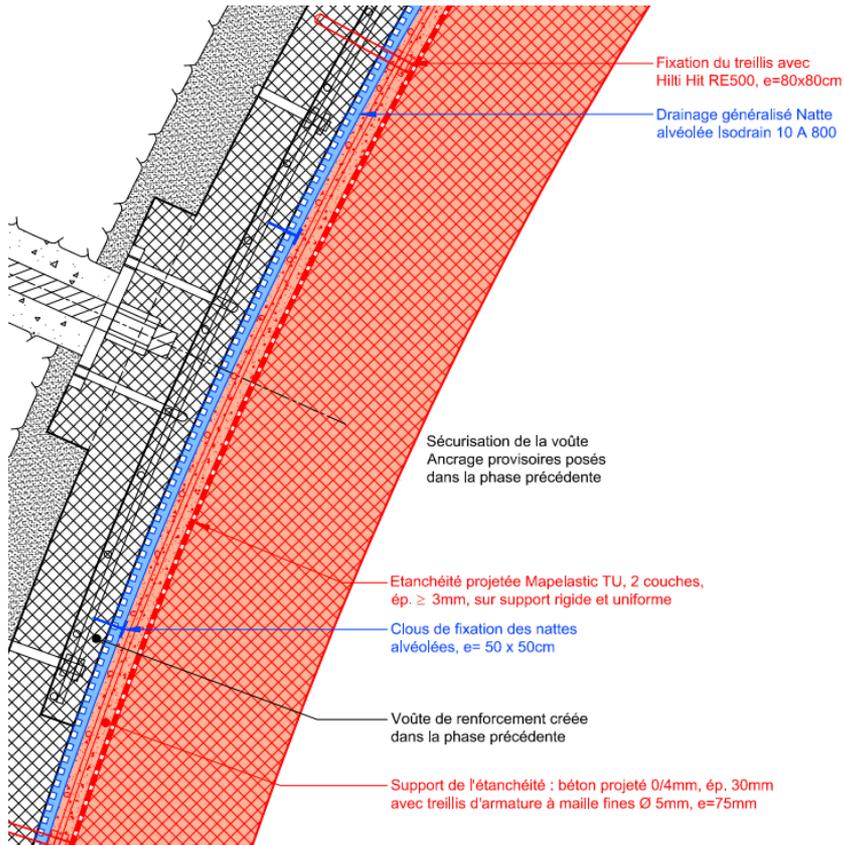




## 2. Le projet pilote du T3

### ➤ Drainage et étanchéité

Partie Nord : Natte drainante + Treillis + Béton projeté + Etanchéité projetée



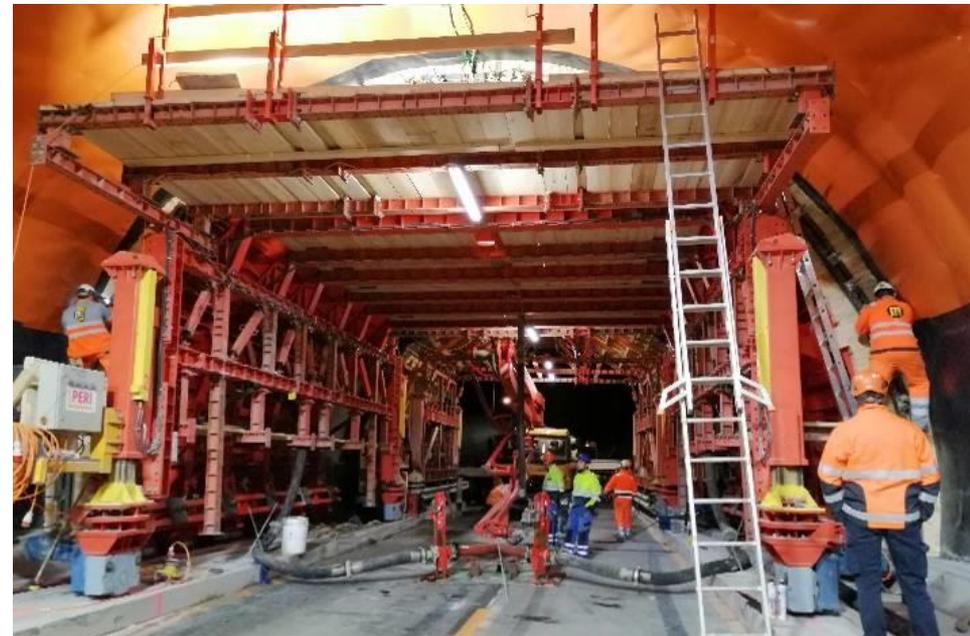
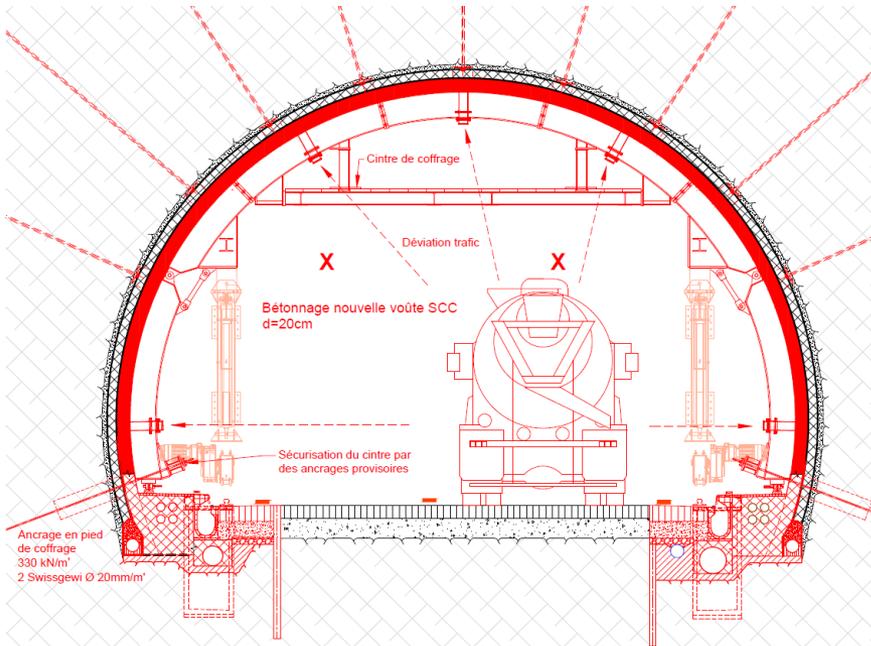




## 2. Le projet pilote du T3

### ➤ Bétonnage de la nouvelle voûte

Bétonnage de la voûte en béton autoplaçant (SCC),  
épaisseur 20 cm, non armée





## 2. Le projet pilote du T3

### ➤ Béton concretum

Béton SCC à prise rapide

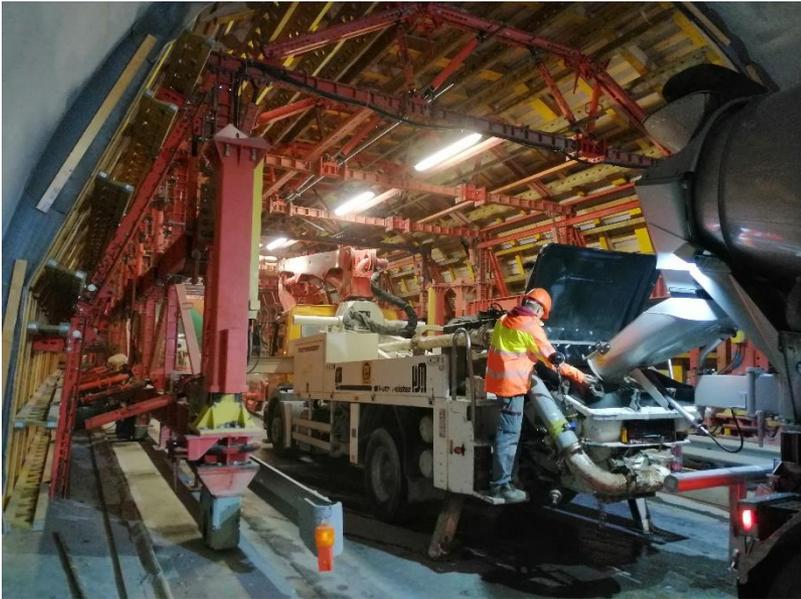
Résistance du béton :  $f_c > 20 \text{ N/mm}^2$  après une durée maximale de 2h00

### Avantages :

- Cadence de bétonnage : réduction du cycle de bétonnage d'env. 7h
- Permet d'éviter l'utilisation des cintres en pied de coffrage (qui créent des points faibles dans l'étanchéité)

### Inconvénients :

- Réouverture du trafic dépendante de la bonne exécution du bétonnage
- Coût élevé

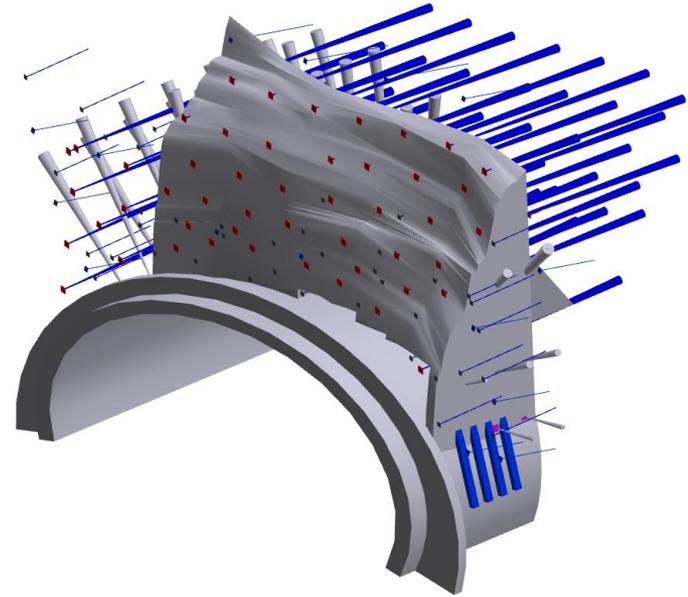




## 2. Le projet pilote du T3

### ➤ Démolition des portails

- Confortement préliminaire des portails par clouage



- Démolition complète des portails en simultané et soutènements provisoire => Exécution en 56 h non stop

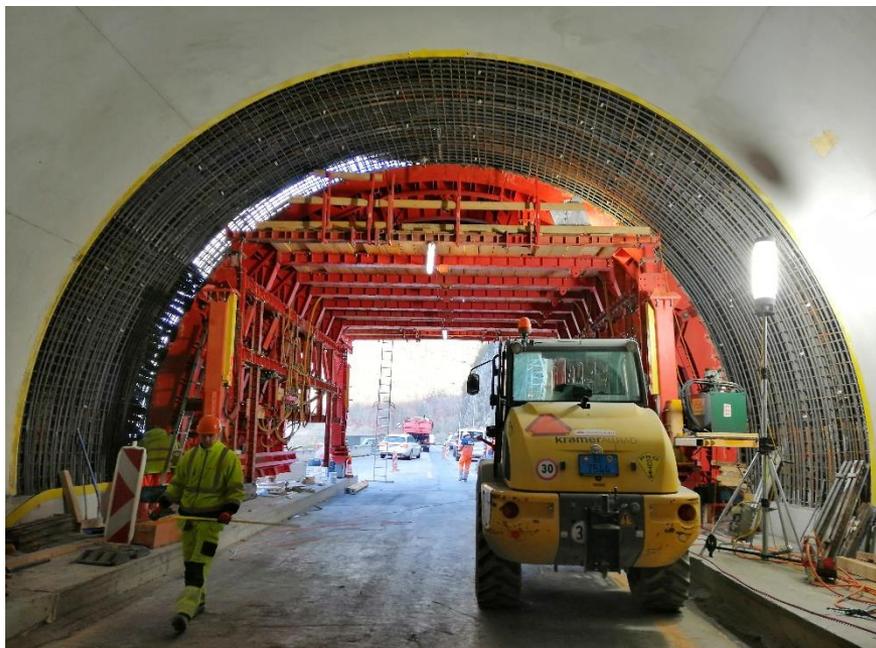




## 2. Le projet pilote du T3

### ➤ Reconstruction des portails

Bétonnage de la voûte en béton SCC, épaisseur 35 cm, armée





### 3. Bilan à ce jour

➤ **Rabotage :**

*Le fait de raboter 20 cm sur une voûte de 30 cm, nécessite une quantité d'ancrages très importante qui pénalise le planning et les coûts.*

*Des vides importants sous la voûte ont été découverts, malgré le nombre important de carottages réalisés au préalable. Ces vides ont dû être injectés ce qui n'était pas prévu. Pour les autres tunnels, un géoradar a été effectué pour anticiper la problématique.*

*L'épaisseur de l'ancienne voûte était fortement réduite à certains endroits (sécurisation plus importante).*

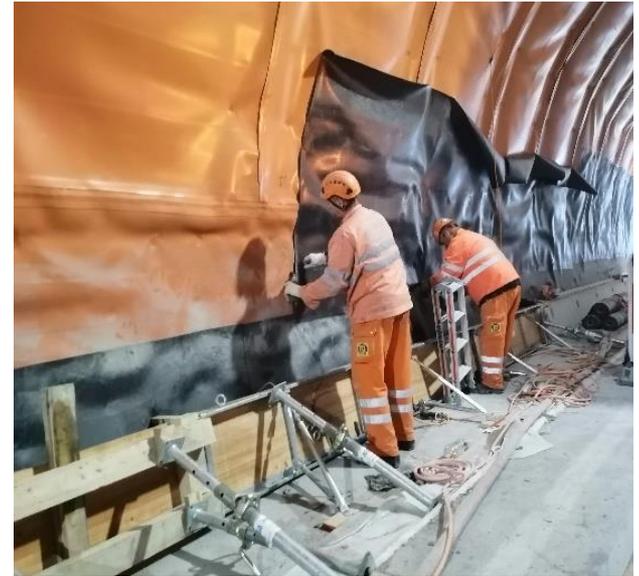
*Le principe de rabotage fonctionne très bien avec des passes de 8cm. L'entreprise adjudicataire (MTS) a développé une machine pour ce projet évitant d'aller chercher à l'extérieur ce savoir faire.*





### 3. Bilan à ce jour

- **Etanchéité à feuille :**  
*La mise en place avec des moyens simples (nacelles) n'a pas posé de problèmes particuliers.*
- *Le fait de rouvrir le matin avec la présence de la feuille n'a pas eu d'incidences particulières. Une protection jusqu'à 4m de hauteur a été mise en place préventivement.*
- *Le même niveau de qualité a pu être atteint.*





### 3. Bilan à ce jour

- **Étanchéité projetée :**  
*Difficulté lors de la mise en place pour avoir une épaisseur constante et uniforme. Une troisième couche a été nécessaire pour assurer une bonne étanchéité.*
- *Durée de mise en place : 7 semaines. Importance de la durée de séchage (dépendante de la température).*  
⇒ *Dans le cadre de ce projet, pas de gain de la durée de mise en place par rapport à une étanchéité en feuille (4 semaines)*
- *Coûts financiers plus importants pour réaliser le support à l'étanchéité projetée (rabotage supplémentaire, mise en place de treillis et béton projeté permettant d'assurer l'accroche de l'étanchéité projetée)*
- *Globalement, cette solution technique, dans le cadre de ce projet, n'a pas montré d'avantages par rapport à une étanchéité à feuille.*





### 3. Bilan à ce jour

- **Gestion trafic :**  
*Tous les travaux ont pu se faire avec maintien des deux voies de circulation.*
- **Planification :**  
*Trois opérations coup de poing avec fermeture de la voie montante ont été nécessaires au lieu d'une.*  
  
*Afin de finir les travaux en une année, une seconde équipe travaillant de 4h à 12h s'est avérée indispensable. Ceci implique la non réouverture des deux voies le matin, mais ne pose pas de problème en raison de la charge du trafic le matin sur la voie montante.*
- **Financier (T3 longueur 196m) :**  
*Montant final des travaux : 11.6 Mio*  
*Coûts estimé phase MK (hors trafic) : 8.6 Mio*  
*Ecart : 38%*





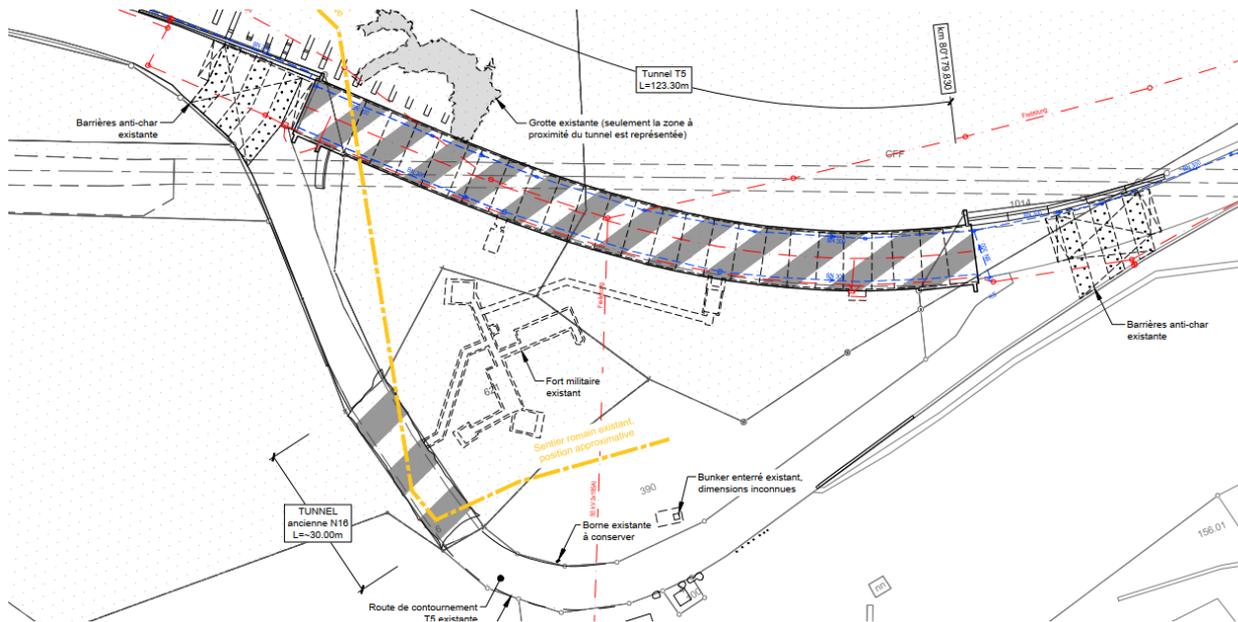
## 4. Suite du projet

### Second projet pilote pour le tunnel T5 – Voûte CFUP

- Conditions trafic identiques au Tunnel 3 (travaux de nuit, réouverture au trafic tous les jours). Aucune fermeture de l'autoroute permise, hormis sur une durée de 15 minutes, du fait de l'absence d'itinéraire de déviation.

Éléments de tiers : grotte naturelle, fort militaire, tunnel CFF à moins de 10 m sous le T5

⇒ Recherche d'une solution d'assainissement plus "légère"



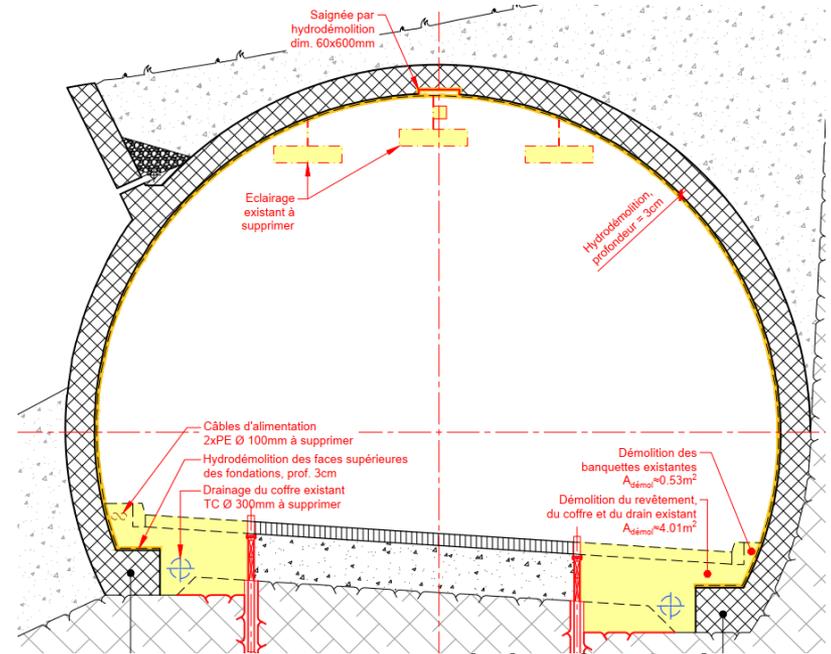
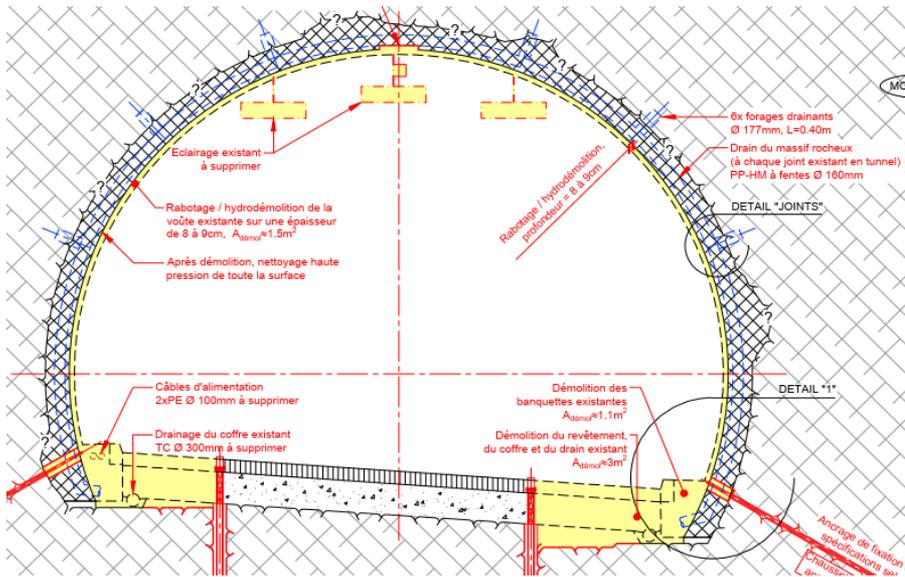
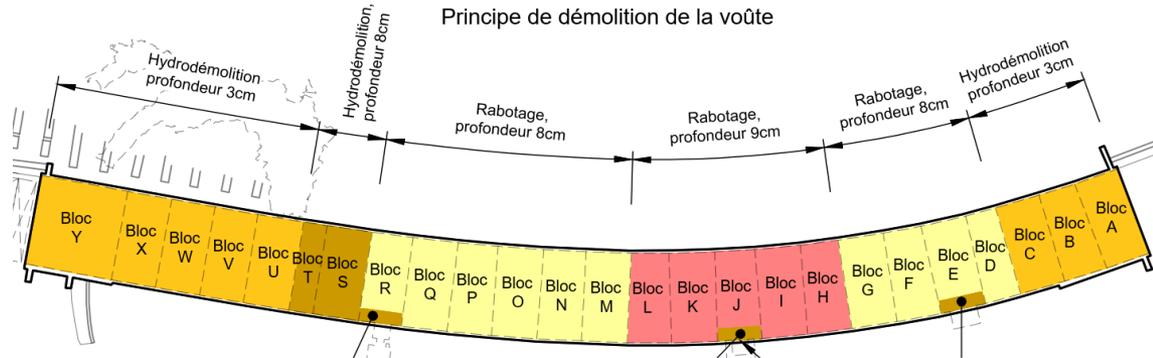


# 4. Suite du projet

## ➤ Optimisation de la démolition :

Réduire le rabotage à 9 cm (gain de temps et réduction des ancrages de sécurisation).

Aux portails, hydrodémolition de 3 cm (zones armées)

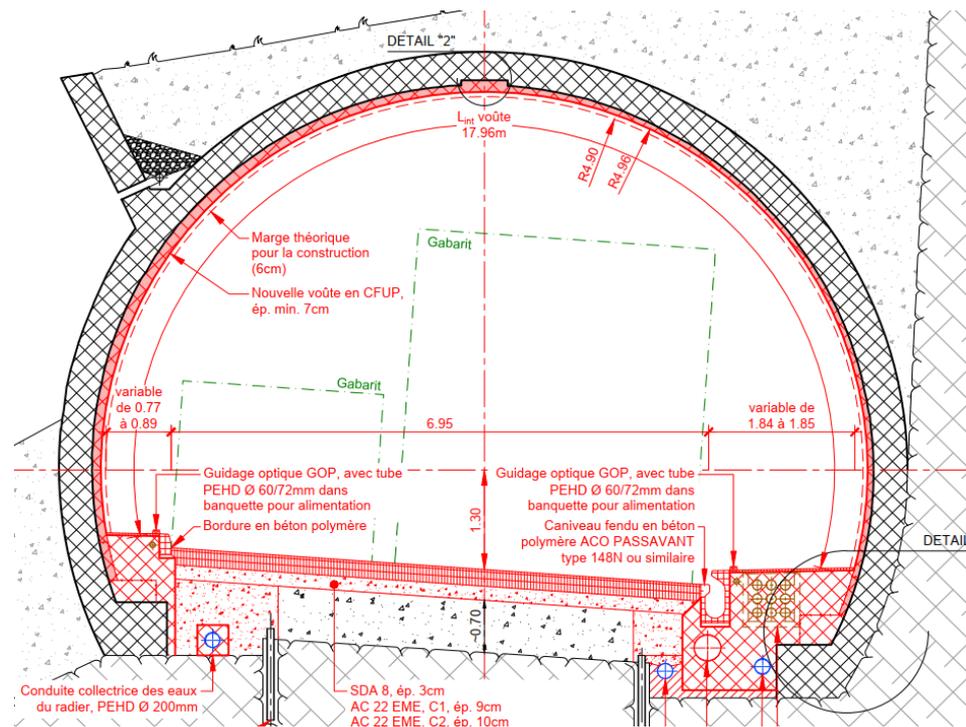
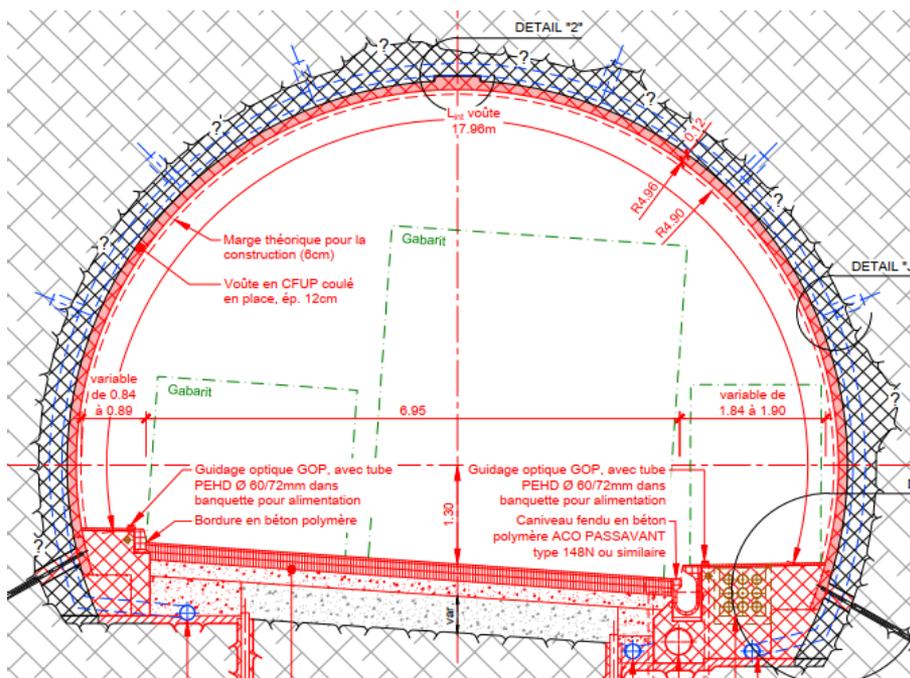




## 4. Suite du projet

### ➤ Optimisation de la nouvelle voûte :

- Réalisation d'une voûte CFUP d'épaisseur 12 cm en section tunnel / 7 cm aux portails
- De part la nature du CFUP qui est étanche, abandon de l'étanchéité.
- Continuité de la solution d'assainissement entre le tunnel et les portails





## 4. Suite du projet

**Essai en halle pour tester la faisabilité avant d'aller en tunnel**

- **Produit Vicat :**  
*CFUP fluide permettant une mise en place aisée dans le cintre de coffrage*  
*Apparition de fissures traversantes (mauvaise orientations des fibres en raison de la fluidité du produit ?)*
- **Produit Holcim :**  
*CFUP très plastique avec un remplissage incomplet du cintre lors des premiers essais*  
*Amélioration de la fluidité de la recette dans une seconde phase sans apparition de fissures lors de la dernière étape de test. Choix de ce fournisseur par l'entreprise pour réaliser la voûte en tunnel.*
- **Constat global :**  
*La mise en place du CFUP doit impérativement se faire sans interruption, le changement de trappe de bétonnage nécessite un système de vanne permettant de changer de trappe sans interruption*



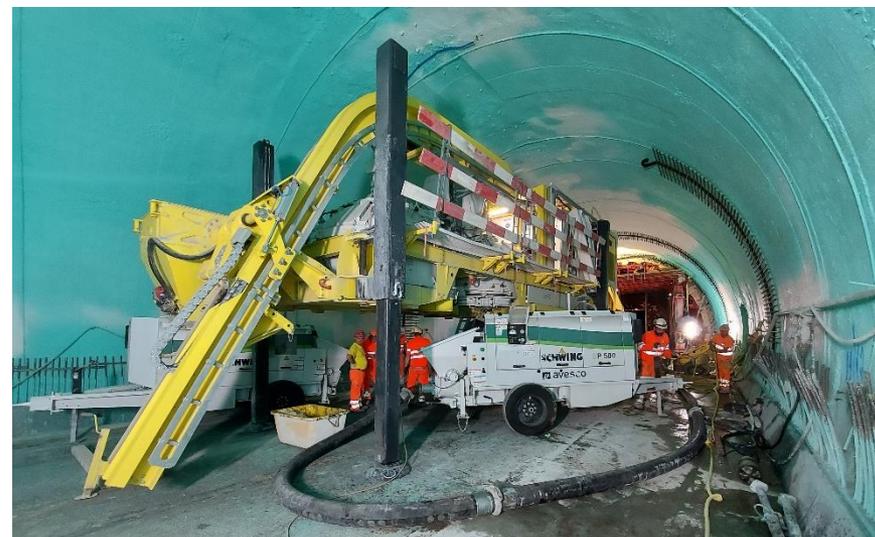
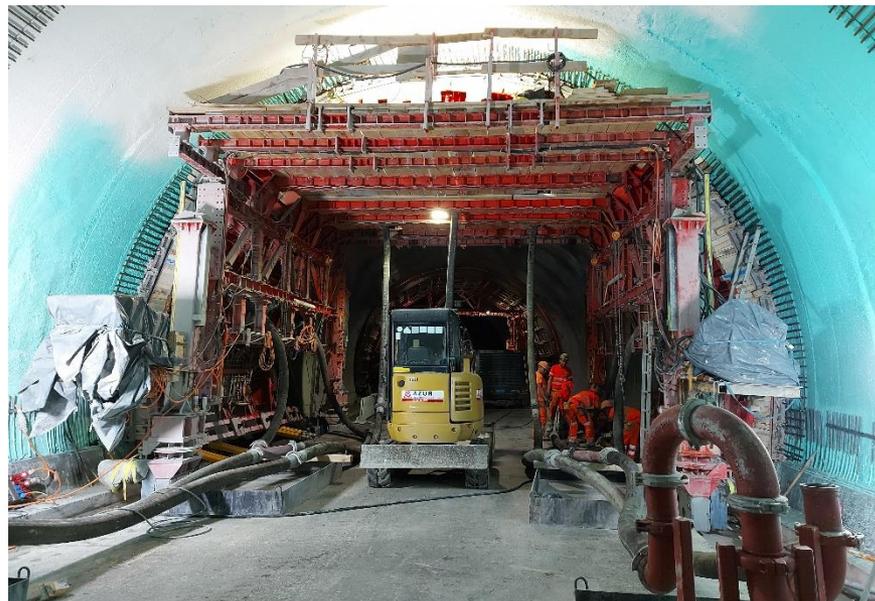
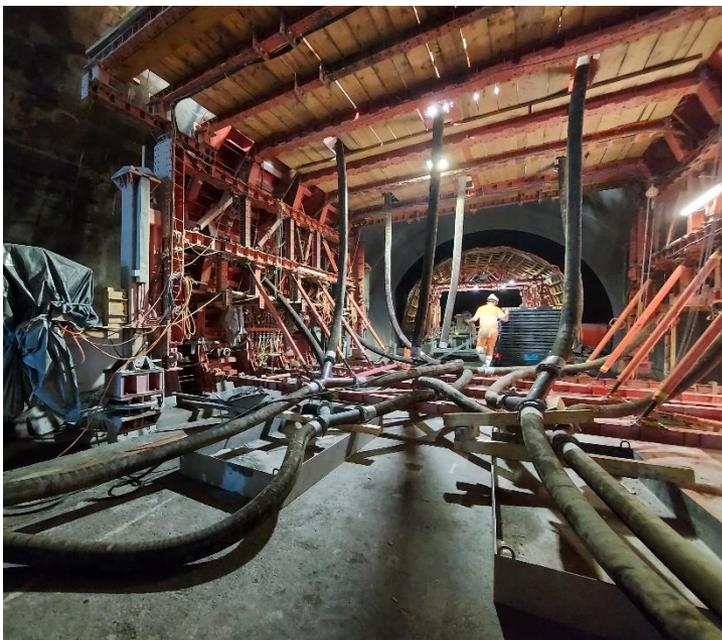


## 4. Suite du projet

### Réalisation en tunnel :

- Production du CFUP sur place à l'aide d'une centrale mobile
- Bétonnage à l'aide de 4 à 8 bouches d'injection
- Pompage symétrique vallée / montagne

Conclusion : le remplissage complet de la voûte par pompage est réalisable et a été effectué avec succès !





## 4. Suite du projet

### Réalisation en tunnel :

- **Autres constats :**
  - Malgré une dernière étape de test concluante en halle, apparition de fissures traversantes en tunnel allant de 0.1 mm à localement 2 mm*
  - Forte dépendance de la température sur le temps de prise*
  - Produit «délicat» à mettre en œuvre, beaucoup de paramètres influencent la mise en œuvre*
  
- **Améliorations mise en œuvre :**
  - Augmentation du temps de décintrage (de 12h à 18h)*
  - Mise en place de chariot de cure avec vapeur pour le premier et meilleure isolation sur le second.*
  
- **Mesures complémentaires en raison de la fissuration :**
  - Mise en place d'une étanchéité projetée afin de palier aux phénomènes de fissuration de la voûte.*





## 4. Suite du projet

### Conclusion globale des deux tunnels :

➤ **T3 :**

*Le principe de rabotage de la voûte, permet effectivement un assainissement sous trafic. Il évite également de détruire complètement une voûte de la refaire en intégralité (gestion plus durable des matériaux). L'épaisseur de rabotage est à optimiser afin de minimiser le rabotage et la sécurisation de la voûte.*

➤ **T5 :**

*Le pompage du CFUP pour bétonner une voûte de tunnel d'épaisseur fine est réalisable. Cependant, la mise en place et la maîtrise du matériau restent délicates. L'utilisation du CFUP en tant qu'étanchéité de tunnel n'est pour l'instant pas maîtrisée, du fait du phénomène de fissuration.*







## 5. Questions