

The background image shows the entrance to the Weissenstein tunnel. The tunnel opening is a dark, arched structure set within a stone masonry wall. Above the arch, a metal sign displays the number '1907'. The entrance is flanked by corrugated metal panels. To the right, a railway signal post stands on a grassy embankment. The signal post has a white rectangular light housing with a red light illuminated, a smaller black signal box below it, and a white square sign with the letter 'C'. Further down the post is a blue and white diamond-shaped sign with the number '18' and '3490' below it. The scene is set against a backdrop of green foliage and a clear sky.

Défis liés à la rénovation du tunnel du Weissenstein

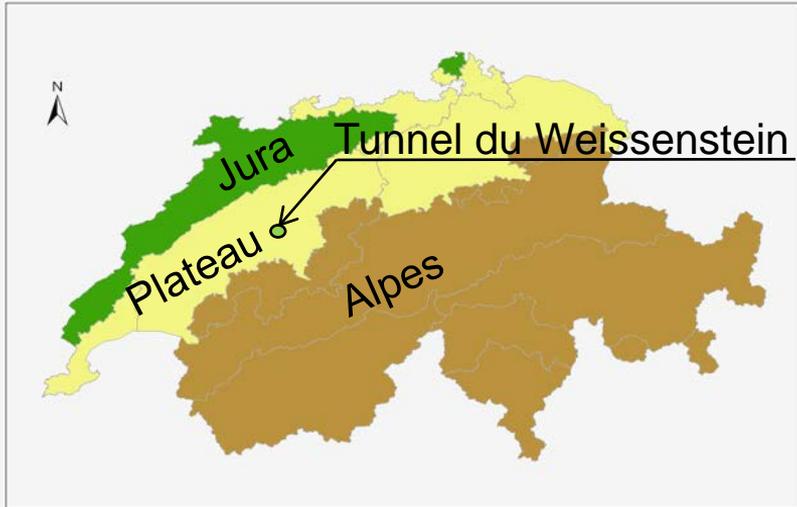
TST du 7 juin 2018

Sommaire

1. Situation initiale
2. Résultat des inspections effectuées en 2011, 2012 et 2015 ; surveillance à partir de 2015
3. Études 2012 et 2013, projet de mise à l'enquête 2016
4. Étapes suivantes du projet de rénovation du tunnel du Weissenstein

1. Situation initiale

Régions géologiques de Suisse



3 régions géologiques de Suisse :

- Alpes
- Plateau
- Jura

⇒ Le tunnel du Weissenstein se trouve dans le Jura.

Caractéristiques du Jura :

- Reliefs plissés
- Formations rocheuses calcaires, marneuses, gypseuses et argileuses
- Gonflement au contact de l'eau et de l'air (minéraux argileux)

1. Situation initiale

Données de l'ouvrage du tunnel du Weissenstein



- Longueur 3699 m
- Mise en service de la ligne en 1908
- Maçonnerie en pierre naturelle creusée à l'explosif (env. 80 %)
- Sections sans revêtement (env. 20 %)
- Voûte du radier (env. 65 %)

1. Situation initiale

Particularités pendant la construction

- La chaîne du Weissenstein est constituée par un double plissement
→ nombreuses couches géologiques
- Stabilité statique du massif généralement courte durant la construction
→ nombreuses transformations pendant l'avancement
- Couches de gypse
→ apparition de poussées au niveau de la voûte déjà durant les travaux
- Épanchement du Rausbach dans le tunnel (captage dans un canal en béton armé)
→ affaissements ultérieurs de la voûte du tunnel encore des décennies après la mise en service
- De gros volumes d'eau sont apparus dès la construction

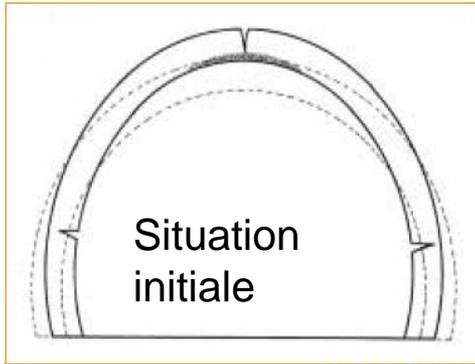
1. Situation initiale

Particularités pendant l'exploitation

- Des plaques (fissures) se sont décrochées ultérieurement dans les formations rocheuses stable du Jura
 - Montage revêtement de voûte
 - Apparition de poussées au niveau de la molasse, des marnes et du gypse
 - Installation voûte de radier et renforcement du parement
- ⇒ Le contact de l'eau avec la roche susceptible de gonfler entraîne encore aujourd'hui l'apparition de pressions (formation de pression au niveau des jonctions)

1. Situation initiale

Mécanisme de formation de pression au niveau des jonctions



Processus/mécanisme :

- Gonflement de la roche (eau, air)
- Augmentation de la charge (pression) sur le radier et la voûte
- La déformation entraîne :
 - une traction au niveau de la paroi extérieure sur le sommet
 - une pression sur le sommet (éclats)

- ⇒ La tension excède la résistance à la pression de la maçonnerie
- ⇒ Éclats au niveau de la maçonnerie
- ⇒ Réduction de la capacité de charge
- ⇒ Mécanisme progressif



2. Résultat des inspections effectuées en 2011 et 2012

Contrôle visuel

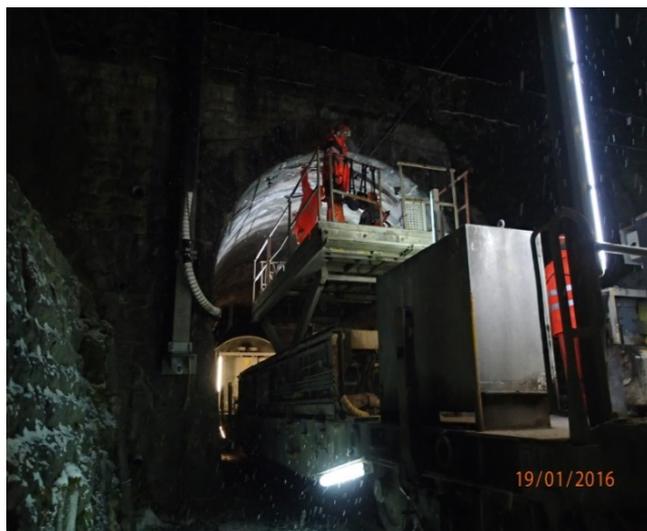


Plate-forme élévatrice



Tapotement

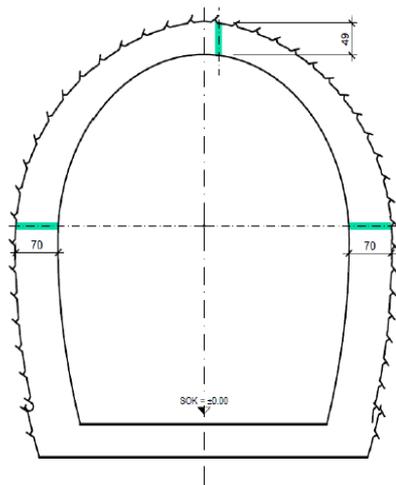


Marquage des creux

2. Résultat des inspections effectuées en 2011 et 2012

Sondage de la voûte 2011

– 30 carottages d'une longueur de 60 à 85 cm



Représentation
schématique



Carottage parement



Carottage voûte

2. Résultat des inspections effectuées en 2015

Exploration du radier

- 4 fentes de sondage dans la zone des traverses



Dégagement du radier
en béton



Perçage



Radier dégagé avec niveau
d'eau élevé

2. Résultat des inspections effectuées en 2011, 2012 et 2015

Eau et pression au niveau des jonctions



Source d'eau au niveau du parement



Infiltrations d'eau au niveau de la voûte



Formation de pression au niveau des
jonctions sur une grande surface



Éclats suite à la formation de pression au niveau
des jonctions

2. Résultat des inspections effectuées en 2011, 2012 et 2015

Évacuation latérale et centrale des eaux



Écroulement de l'évacuation
latérale des eaux



Regard au niveau de la zone
d'évacuation centrale écroulée

2. Résultat des inspections effectuées en 2011, 2012 et 2015

Relevés au niveau du canal 2011

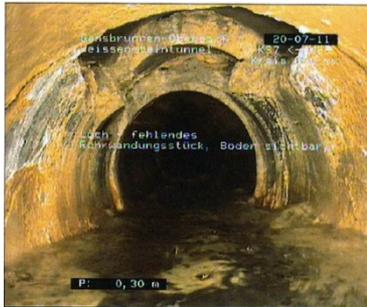


Foto: 106_2a, Videoband Nr.: DVD, 00:00:20
0,3m, Loch - fehlendes Rohrwandungsstück, Boden sichtbar, Scheitel, von 11 bis 01 Uhr

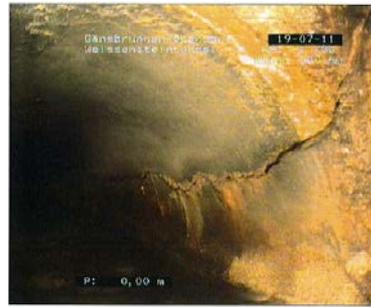


Foto: 2_3b, Videoband Nr.: DVD, 00:00:14
0m, Scherbenbildung, ges. Umfang, 2 mm, Schadensanfang



Foto: 25_9a, Videoband Nr.: DVD, 00:08:40
40.66m, Inkrustation, feucht, Scheitel, von 08 bis 04 Uhr



Foto: 22_5a, Videoband Nr.: DVD, 00:05:06
13.22m, Verfestigte Ablagerung, Scheitel, 20 %



Foto: 1_9a, Videoband Nr.: DVD, 00:07:41
20.73m, Loch - fehlendes Rohrwandungsstück, Scheitel, bei 12 Uhr



Foto: 29_2a, Videoband Nr.: DVD, 00:00:00
0m, Info: Keine Aufnahmen möglich Rohr eingedrückt



Foto: 16_3b, Videoband Nr.: DVD, 00:00:53
2.82m, Sedimentation (Geröll), Sohle, 20 %, Schadensanfang



Foto: 23_26a, Videoband Nr.: DVD, 00:28:01
193.62m, Info: Starker Wassereintritt im Scheitel

2. Résultat des inspections effectuées en 2011, 2012 et 2015

Volumes d'eau



Évacuation au niveau du portail d'Oberdorf

Source : Untersuchung des Weissensteintunnels – Quellschüttung und Gesamtabfluss, Dr. Th. Herold, 2002

- Diverses sources dans le tunnel
- Débit au centre d'env. 290 l/s
- Max. env. 900 l/s
- Utilisation des volumes d'eau au niveau du portail d'Oberdorf pour la production d'électricité
- Les caniveaux de drainage existants servent à évacuer l'eau de source.
- Les infiltrations d'eau au niveau de la voûte ne sont majoritairement pas captées.
- L'eau s'écoule désormais dans le ballast.

2. Résultat des inspections effectuées en 2011, 2012 et 2015

Voie ferrée

Jusqu'ici, sondage uniquement de l'épaisseur de ballast et des évacuations d'eau

⇒ L'état de la voûte du radier est inconnu



Épaisseur de ballast insuffisante /
ballast sali



Ballast trempé / sali

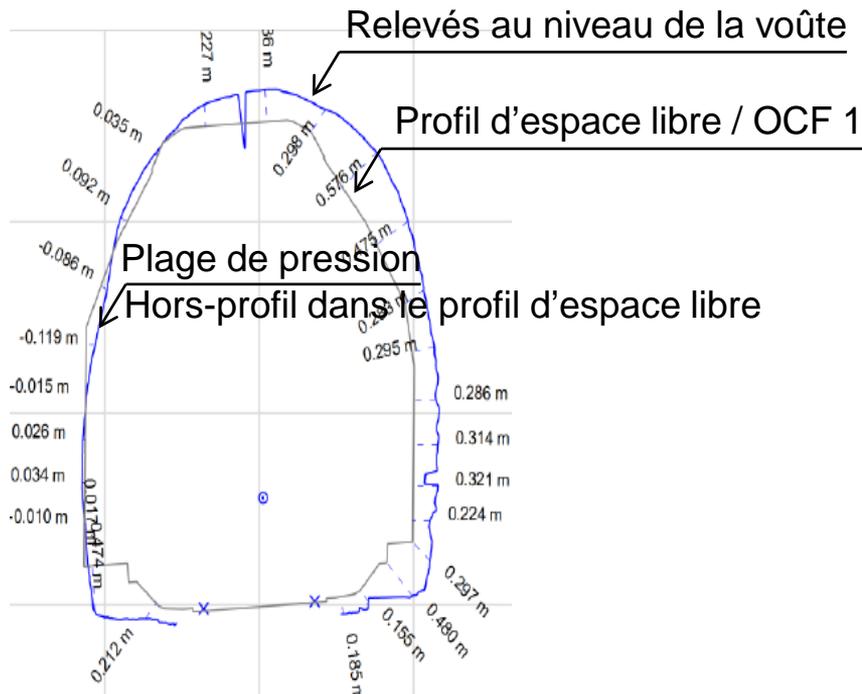
2. Résultat des inspections effectuées en 2011, 2012 et 2015

Scannage du profil d'espace libre



2. Résultat des inspections effectuées en 2011, 2012 et 2015

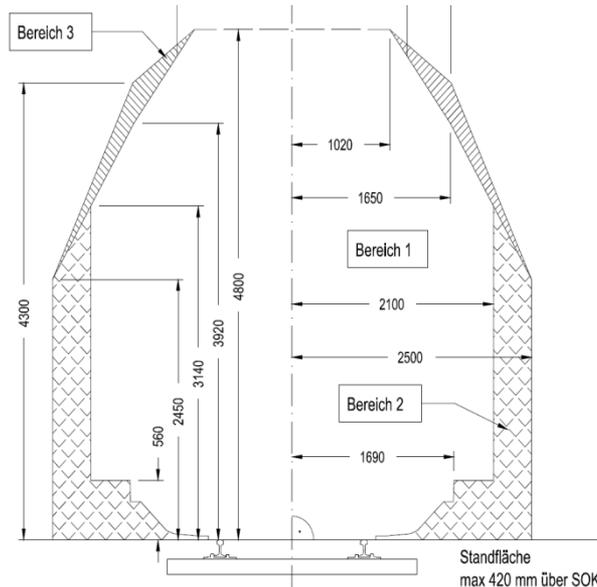
État du profil



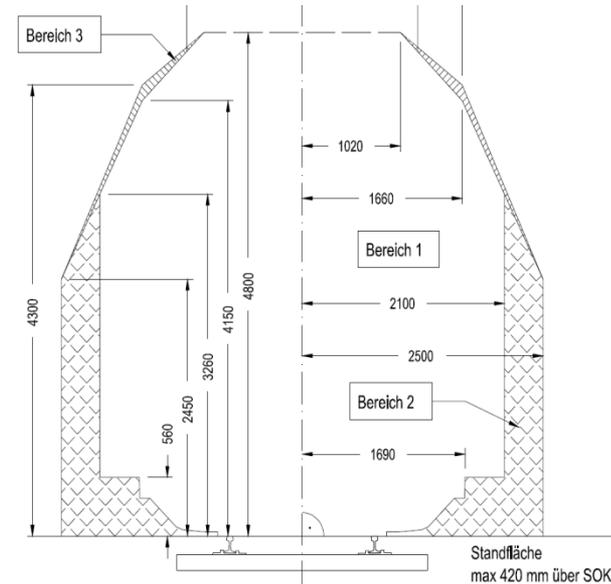
- OCF 1 presque respectée de manière générale
- Hors-profils présents dans la zone avec l'apparition de pressions
- OCF 2 non respectée
- Selon les DE de l'OCF Feuille 13 N, l'OCF 2 doit être respectée en cas de rénovation.

2. Résultat des inspections effectuées en 2011, 2012 et 2015

Exigences liées au profil d'espace libre



OCF 1 (profil minimal)
Selon les DE de l'OCF Feuille 13 N



OCF 2
Selon les DE de l'OCF Feuille 12 N¹⁸

2. Résultat des inspections effectuées en 2011, 2012 et 2015

Évaluation de l'état

Classes d'état (CE) selon la norme SIA469 :

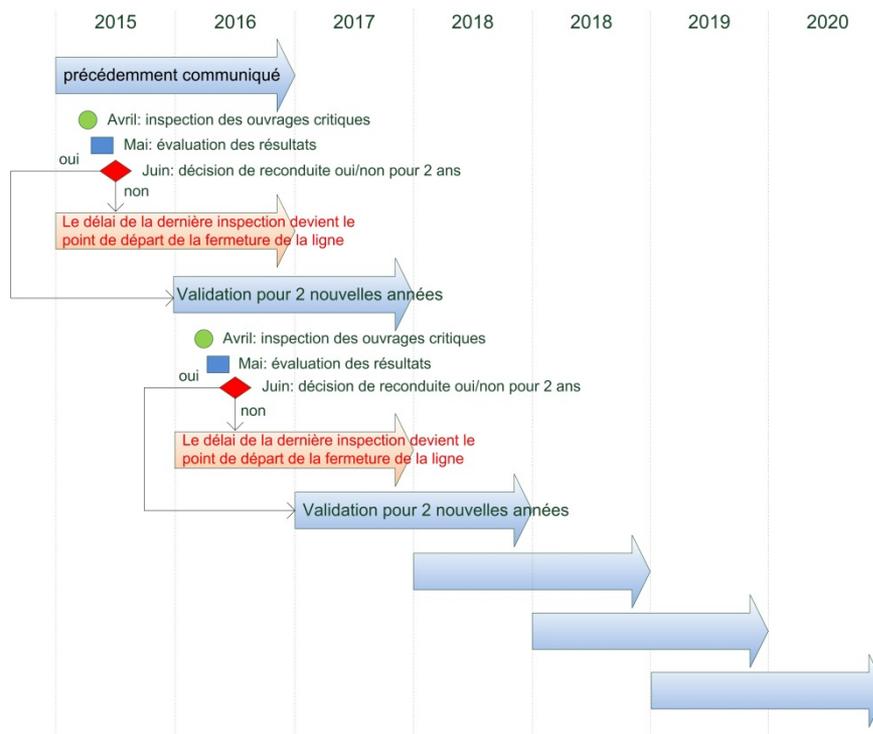
CE 1 : bon	→ dommages inexistants ou minimes
CE 2 : acceptable	→ dommages insignifiants
CE 3 : défectueux	→ dommages significatifs
CE 4 : mauvais	→ dommages importants
CE 5 : alarmant	→ mesures immédiates

Classification du tunnel du Weissenstein :

env. 525 m	CE 4
env. 1550 m	CE 3
env. 1624 m	CE 2/3

2. Surveillance du tunnel du Weissenstein

Schéma d'inspection



2. Surveillance du tunnel du Weissenstein

Surveillance 2016

Résultat

Attribution de l'autorisation d'exploitation jusqu'à fin 2018, mais mesures de sécurité supplémentaires absolument nécessaires en 2016

Mesures de sécurité supplémentaires 2016

Filets pare-pierres GFK dans la zone de faîtage sur un total de 525 m
1^{re} partie montée au printemps 2016

Mesures de sécurité au niveau de la niche au km 11.155
Stabilisation de la niche lors de la surveillance 2017

Coûts

Mesures 2016 : CHF 300'000.–

Mesures 2017 : CHF 200'000.–

Surveillance 2017

Selon le schéma d'inspection en avril 2017

2. Progression de la rénovation du tunnel du Weissenstein

Surveillance

Mesures immédiates avril 2016
Montage de filets pare-pierres GFK

Niche km 11.162
Inspection dommages constatés 2016



3. Études 2012 et 2013

Exigences relatives à la rénovation partielle

Profil d'espace libre

- OCF 1 / Valeurs spécifiques S2 pour le tunnel existant

Ligne de contact

- Ligne de contact rigide

Voie ferrée

- Type de rail 54 E2 (CFF IV)
- Traverses en bois
- Ballast sous rail principal 36 cm (y compris réserve d'élévation)

Assise

- Rénovation de l'évacuation longitudinale avec capacité d'écoulement suffisante (au centre env. 290 l/s ; max. env. 900 l/s)

3. Études 2012 et 2013

Exigences relatives à la rénovation partielle

Variantes :

- Variante 1 : mesures constructives au niveau de la voûte et du radier avec durée d'utilisation de 25 ans
- Variante 2 : premières mesures constructives au niveau de la voûte et du radier avec une durée d'utilisation de 25 ans (correspond à la variante 1) et autres mesures constructives pour rallonger la durée d'utilisation de 25 années supplémentaires
- Variante 3 : mesures constructives au niveau de la voûte et du radier avec durée d'utilisation de 50 ans

Objectifs :

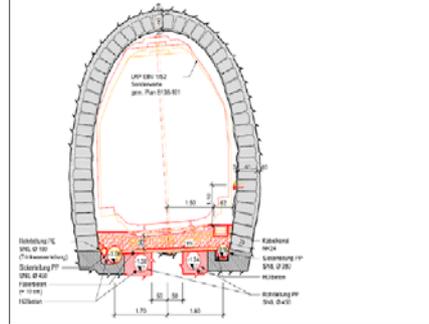
- Calcul des coûts
- Calcul de la durée des travaux
- Connaître les variantes
- Choix de la variante

3. Études 2012 et 2013

Profils types de remise en état

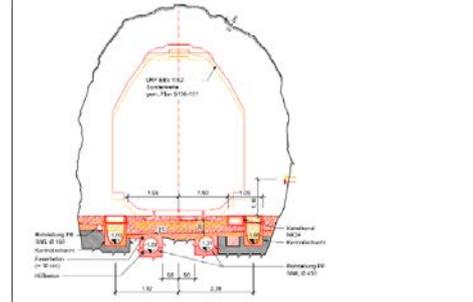
Gewölbeinstandsetzung G1 (maçonnerie)

- Lokale Instandsetzung der bestehenden Spritzbetonschale
- Mauerwerksinstandsetzung
- Abdichtungs- und Entwässerungsmassnahmen



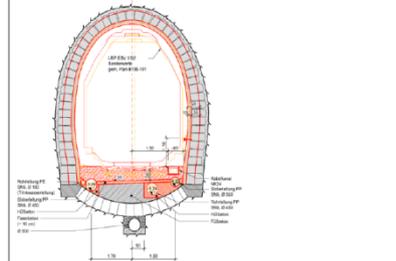
Remise en état de la voûte G1 (béton/béton projeté)

Lokale Betoninstandsetzungen



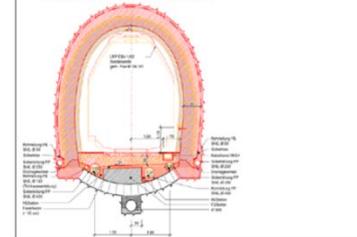
Gewölbeverstärkung G2

- Verstärkungsrippen à 3 bis 5 cm (d = 50 cm)
- Abbruch der bestehenden Spritzbetonschale (d = ca. 5 cm)
- Entfernen der verwitterten Mauerwerksoberfläche (ca. 5-10 cm)
- Neue Spritzbetonschale bewehrt (d = 15 cm)



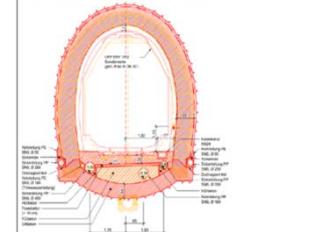
Gewölberneuerung inkl. Auflager G3

- Gewölbersatz aus Spritzbeton/Ortbeton bewehrt (d = 80 cm)
- Ersatz des Auflagers aus Ortbeton
- Ausbruchssicherung (d = 10 cm)
- Abdichtungsfolie/Drainagematte
- Gewölbfussentwässerung
- Bautechnischer Nutzraum t (20 cm)



Totalsatz G4

- Gewölbersatz aus Spritzbeton/Ortbeton bewehrt (d = 80 cm)
- Ersatz des Auflagers aus Ortbeton
- Ersatz des Sohlgewölbes aus Ortbeton
- Ausbruchssicherung (d = 10 cm)
- Abdichtungsfolie/Drainagematte
- Gewölbfussentwässerung
- Bautechnischer Nutzraum t (20 cm)



3. Études 2012 et 2013

Coût global des variantes

	Variante 1 25 ans	Variante 2 25 + 25 ans	Variante 3 50 ans
Voie ferrée (IAF)	CHF 4,8 mio	CHF 10,0 mio	CHF 9,3 mio
Courant de traction (IAB)	CHF 2,8 mio	CHF 4,0 mio	CHF 3,5 mio
Télécommunications et technique du bâtiment (IAT)	CHF 9,25 mio	CHF 19,0 mio	CHF 18,44 mio
Génie civil (IAI)	CHF 83,5 mio	CHF 147,16 mio	CHF 131,0 mio
Coûts des services de remplacement de trains	CHF 3,15 mio	CHF 5,35 mio	CHF 4,25 mio
Coûts totaux hors TVA (+/-30 %)	CHF 103,5 mio	CHF 185,51 mio	CHF 166,49 mio

3. Projet de mise à l'enquête 2016

Progression de l'étude de projet

- Le projet est prêt à être mis à l'enquête.
- À l'exception de l'acquisition de terrains pour les sites d'installation qui a été sciemment supprimée

Devis +/- 20 %

Variante	Coûts du projet	Durée d'utilisation	Durée de fermeture totale
Fermeture totale	CHF 85 mio	25 ans	18 mois
Travaux dans l'intervalle	CHF 100 mio	25 ans	4 mois

4. Étapes suivantes du projet de rénovation du tunnel du Weissenstein

Étude du projet

- Procédure d’approbation des plans en cours
validation env. mi-2018
- Approvisionnements 2019

Mise en œuvre

- Début des travaux préparatoires : dès avril 2020
- Début de la fermeture totale : juin 2020
- Fin des travaux dans le tunnel : novembre 2021
- Mise en service : décembre 2021
- Fin des travaux : printemps 2022

A photograph of a railway tunnel entrance. The tunnel is built into a stone structure with a corrugated metal roof. A sign above the entrance reads '1907'. To the right, a signal post is visible with a red light illuminated. A sign on the post reads '18' and '3490'. The background is a lush green hillside.

Merci de votre attention !