



MAINTENANCE DES OUVRAGES D'ART

Pièce n° 2

OUVRAGE : Tunnel de La Clusette

RC N° : H10

Km : PR 23+680 à 23+788

Commune : Noiraigue – Brot-Dessous

Tronçon : Les Verrières -Neuchâtel

Centre d'entretien : UT II (Couvét)

CONCEPT D'INTERVENTION 2014

CARACTÉRISTIQUES			PROPOSITIONS MANDATAIRE	
Entretien du segment planifié en :	--			oui non
	oui	non	Intervention avant l'entretien planifié :	o v
•Ouvrage ancré	o	v	Investigations complémentaires	v o
•Vérification par calcul effectuées	v	o	Surveillance	v o
• Autre : Investigations effectuées	v	o	Autre : Assainissement	v o
APPRÉCIATION				
Etat de l'ouvrage ¹⁾ : 3 (1 à 5)				
1 = en bon état - 2 = en état acceptable - 3 = en état détérioré - 4 = en mauvais état - 5 = en état alarmant				
¹⁾ Tenir compte de l'analyse de la vérification par calcul				
DÉCISION PAR SPC				
<input type="radio"/> Ouvrage en ordre				
<input type="radio"/> Surveillance				
<input type="radio"/> Investigations complémentaires				
<input type="radio"/> Intervention légère avant l'entretien planifié				
<input type="radio"/> Intervention avec l'entretien planifié				
<input type="radio"/> Intervention hors entretien planifié				



	L'INGENIEUR DES OUVRAGES D'ART	
	Date :	visa :
	LE TECHNICIEN DES OUVRAGES D'ART	
	Date :	visa :

Suivi des modifications			
Version	Date	Description des modifications	Etabli par
1	15.09.14	Version de base	OPAN/PS
2	16.09.15	Compléments selon travaux tests, rapport HBI version du 17.06.15 et CNERN du 13.07.15	OPAN/YS/PS



Concept d'intervention

OUVRAGE : Tunnel de la Clusette

Table des matières :

1. Introduction.....	4
2. Description de l'ouvrage existant.....	4
2.1 Caractéristiques principales.....	4
2.2 Contexte géologique et hydrogéologique	5
2.3 Type d'ouvrage	6
2.3.1 Profil normal du tunnel	6
2.3.2 Portails Ouest (Noiraigue)	7
2.3.3 Portails Est (Brot-Dessous)	7
3. Délimitations et interfaces.....	7
4. Etat actuel et bases du projet	8
4.1 Interventions précédentes	8
4.2 Investigations ou études précédentes	9
4.3 Résultats principaux et recommandations.....	10
4.3.1 Inspection générale 2008	10
4.3.2 Etude pour la sécurisation du tunnel.....	10
4.3.3 Vérifications et investigations.....	11
4.4 État général de l'ouvrage	11
5. Evaluation normative de l'ouvrage existant	12
5.1 Equipements de sécurité et d'exploitation	12
5.2 Géométrie routière.....	13
5.3 Gabarit de circulation existant	13
6. Mesures prévues / Concept d'intervention.....	14
6.1 Galerie de sécurité.....	14
6.2 Ventilation du tunnel	17
6.2.1 Concept de ventilation proposée lors du concept de sécurisation du 15.03.11.....	18
6.2.2 Concept de ventilation naturelle.....	18
6.3 Démolition dalle intermédiaire	18
6.4 Définition des gabarits	20
6.4.1 Variantes de gabarit pour le tunnel	20
6.4.2 Gabarit retenu	20
6.5 Modification des banquettes	21
6.5.1 Evacuation des eaux de chaussée et des eaux du massif	22



6.5.2 Défense incendie.....	22
6.6 Géométrie routière.....	23
6.7 Rénovation de la chaussée	23
6.8 Assainissement des parois et de la voûte du tunnel.....	23
6.8.1 Variantes d'assainissement.....	24
6.8.2 Comparaison des variantes.....	24
6.8.3 Variantes retenues	25
6.8.3 Analyse des variantes	26
6.9 Travaux tests – Réalisation de saignée et forages drainants (variante A3)	27
6.9.1 Réalisation.....	27
6.9.1 Résultats des travaux tests	27
6.9.1 Conclusions.....	28
6.10 Mise à niveau des équipements de sécurité et d'exploitation.....	28
6.11 Locaux techniques existants et futurs.....	28
7. Exécution, gestion du trafic, programme	28
7.1 Mode d'exécution.....	28
7.1.1 Galerie de secours et liaisons	28
7.1.2 Démolition de la dalle intermédiaire	29
7.1.3 Gestion de la ventilation et de l'éclairage durant les travaux.....	29
7.1.4 Assainissement du tunnel	29
7.2 Gestion du trafic.....	29
7.2.1 Fermeture du tunnel	30
7.2.2 Gestion du trafic lors des travaux d'assainissement.....	30
7.2.3 Gestion du trafic lors des travaux d'entretien du tunnel.....	30
7.2.4 Secours	31
7.3 Etapes et délais	32
7.3.1 Programme des travaux.....	32
8. Devis général – Récapitulation des coûts	33
9. Opportunité - Risques.....	34
9.1 Travaux anticipés - Opportunités.....	34
9.2 Financement des travaux - Risques	34
9.3 Mise à l'enquête - Risque	34
9.4 Gestion des matériaux.....	34
10. Suite des études et conclusions.....	34
11. Liste des annexes	34



Annexes :

- **Plan A4 : Schéma d'ouvrage**
- **Annexe A : Comptage de véhicules 2005 station de la Clusette**
- **Annexe B : Fiche technique ancrages Becorit**
- **Annexe C : Fiche Séparateur d'huile type B au km23.490**
- **Annexe D : Tableau de comparaison des variantes d'assainissement**
- **Annexe E : Programme des travaux**



1. Introduction

Suite à la réalisation de l'inspection du tunnel de la Clusette en 2008 et de l'étude relative à sa sécurisation en 2010-11, le SPC a mandaté le bureau OPAN concept Neuchâtel SA afin de réaliser la vérification (y compris les investigations) et le concept d'intervention du tunnel.

Les travaux d'investigation et la vérification des portails ainsi que du tunnel ont été réalisés en 2011.

Le présent rapport relatif au concept d'intervention regroupe l'ensemble des décisions, études et informations obtenues lors des différentes phases relatives à ce mandat, en fait la synthèse et présente le concept d'intervention.

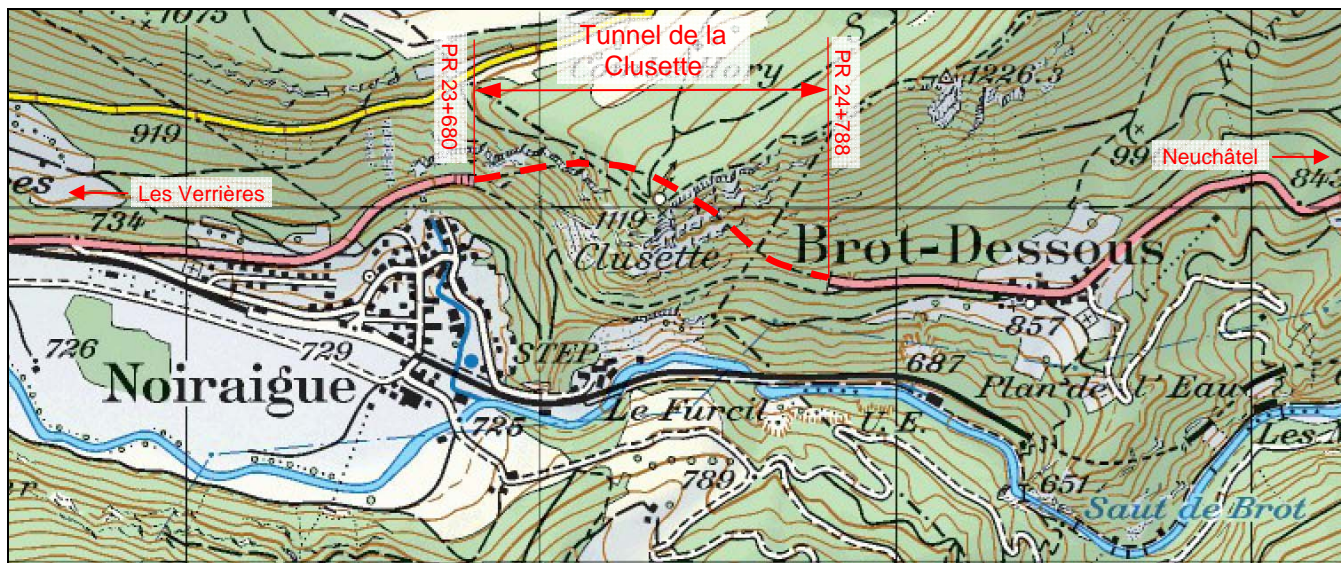
2. Description de l'ouvrage existant

2.1 Caractéristiques principales

Situation

Le tunnel de la Clusette fait partie de la Route Cantonale H10 (anciennement J10) qui relie Les Verrières (frontière française) à Neuchâtel (jonction N5 de Vauseyon).

Le tunnel se situe sur les communes de Noiraigue, de Brot-Plamboz et de Brot-Dessous entre les PR 23+680 et PR 24+788 (voir pièce n°5).



Type d'ouvrage :

Le tunnel de la Clusette est composé d'un tube de 1'001m de longueur prolongé à chacune de ses extrémités par des portails en béton armé, nommés dans ce rapport portail Est pour le portail côté Brot-Dessous et portail Ouest pour celui situé côté Noiraigue.

Fonction de l'ouvrage :

Le tunnel de la Clusette est l'ouvrage principal de la route de liaison entre le Val-de-Travers et le Littoral Neuchâtelois. En effet, le massif de la Clusette marque physiquement le début du Val-de-Travers. Le tunnel permet de franchir ce verrou.

L'ancienne route cantonale passait par le flanc de ce massif. Due à la fissuration prononcée de ce massif provenant de l'éboulement des anciennes galeries présentes à l'est de Noiraigue, la RC a subi des affaissements ou des glissements importants. De plus, l'ancienne RC est dans une zone avec risque de chutes de pierres important. Ces chutes de pierres proviennent de l'érosion de la paroi rocheuse qui domine la RC.

Ces éléments ont conduit à la construction du tunnel en 1975.



Les portails du tunnel contiennent les centrales de ventilation (centrale de ventilation d'air frais pour le portail Ouest et centrale d'extraction de fumée pour le portail Est). Ils jouent également la fonction de galerie de protection contre les chutes de pierres. Des locaux techniques font partie intégrante de ces portails.

Trafic

La vitesse actuelle dans le tunnel est de 80 km/h. Le tunnel comporte deux voies montantes et une voie descendante. Au-dessus de chaque voie des feux sont installés pour la gestion de trafic. Aucun FAV n'est installé actuellement.

Selon les mesures réalisées sur le poste de comptage de La Clusette en 2005 (voir annexe A), le TJM est d'environ 5'000 vhc/j, dont env. 3% de véhicules lourds.

Dès lors, la classe pondérale pour le trafic prévu dans 20 ans est une classe T₃₀ Moyen.

2.2 Contexte géologique et hydrogéologique

Géologie du massif de la Clusette

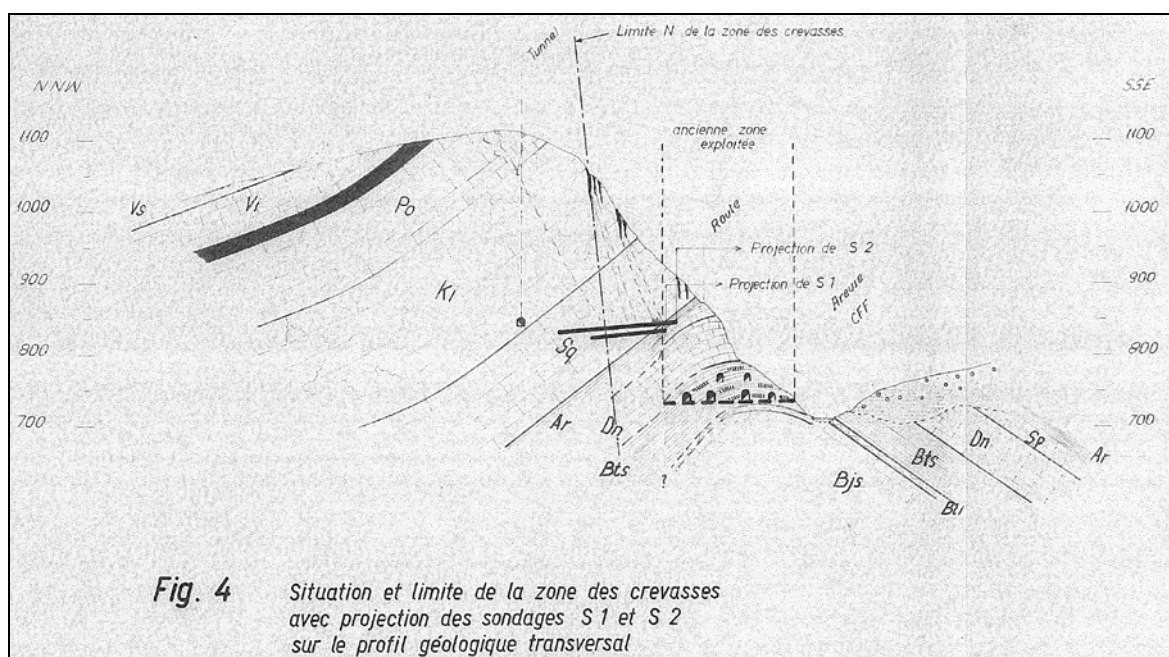
Le tunnel de la Clusette traverse des roches d'âge Jurassique supérieur (Malm), qui appartiennent à la série stratigraphique classique du Jura neuchâtelois méridional. Il s'agit des horizons suivants (en direction de Brot – Dessous) :

- *Kiméridgien moyen = calcaires*
- *Kiméridgien inférieur = calcaires*
- *Séquanien supérieur = calcaires*
- *Séquanien inférieur = calcaires, marno calcaires, quelques marnes*
- *Argovien supérieur = marnes et marno-calcaires.*

Si les Kiméridgiens et le Séquanien supérieur sont des roches de bonne qualité, le Séquanien inférieur et l'Argovien sont de moindre qualité et ont nécessité la pose de cintres lors des travaux de percement du tunnel.

Ces massifs calcaires présentent des phénomènes karstiques qui sont à l'origine des principaux problèmes posés aux constructeurs lors du percement du tunnel.

Le massif au sud du tunnel est très fissuré dans certaines zones. Cela provient de l'éboulement d'anciennes galeries d'exploitation de chaux et de calcaire présentes à la fin du 19^{ème} siècle à l'est de Noiraigue au lieu dit "Furcil" (voir figure ci-dessous).





A signaler que les venues d'eau présentes lors du percement du tunnel sont dues aux précipitations météoriques, et qu'étant donné l'inclinaison des séries stratigraphiques et l'orientation du bassin versant, celles-ci sont de faibles importances.

Sur le profil en long du tunnel (pièce n°6) est reporté le profil géologique correspondant au relevé du front d'attaque. Les venues d'eau constatées lors de l'inspection de 2008 sont également reportées sur ce plan, le but étant de vérifier la concordance entre les venues d'eau et les particularités géologiques.

2.3 Type d'ouvrage

2.3.1 Profil normal du tunnel

Le tunnel de la Clusette a été réalisé selon 4 profils types différents (voir pièce n°7). Ces différents profils sont fonction de la géologie du massif traversé et sont répartis de la manière suivante (selon dossier d'approbation du SPC mis à jour le 14.05.1974) :

- Profil A (ép. voûte 40cm) : ~450m
- Profil B (ép. voûte 45cm) : ~175m
- Profil C (ép. voûte 50cm) : ~340m
- Profil D (ép. voûte 80cm et présence d'un radier voûte) : ~36m

Lors de la réalisation du tunnel, en raison de la mauvaise qualité du terrain en place (principalement au portail Est), des cintres HEB 220 ont été mis en place tous les 80cm sur ~285m (selon relevés du front d'attaque zone 24'285 à 24'355 et 24'520 à 24'735). Des tôles et du béton ont été mis en place entre les cintres et les vides présents à l'arrière ont été injectés avec du mortier.

Des ancrages (type Becorit selon document d'exécution (voir annexe B)) ont ensuite été mis en place. Les têtes et les cintres étant recouverts de 8cm de gunite armée.

La position exacte des différents profils types et des cintres n'est pas connue. En effet, aucune indication relative à celle-ci n'a pu être obtenue sur les documents existants et lors de nos entrevues avec le SPC.

Les parois du tunnel ont été réalisées en béton non-armé par panneau de 8m de longueur, soit 123 panneaux (le panneau 124 a une largeur variable de ~2m à ~6m).

Le profil intérieur du tunnel, qui est constant, figure ci-dessous :

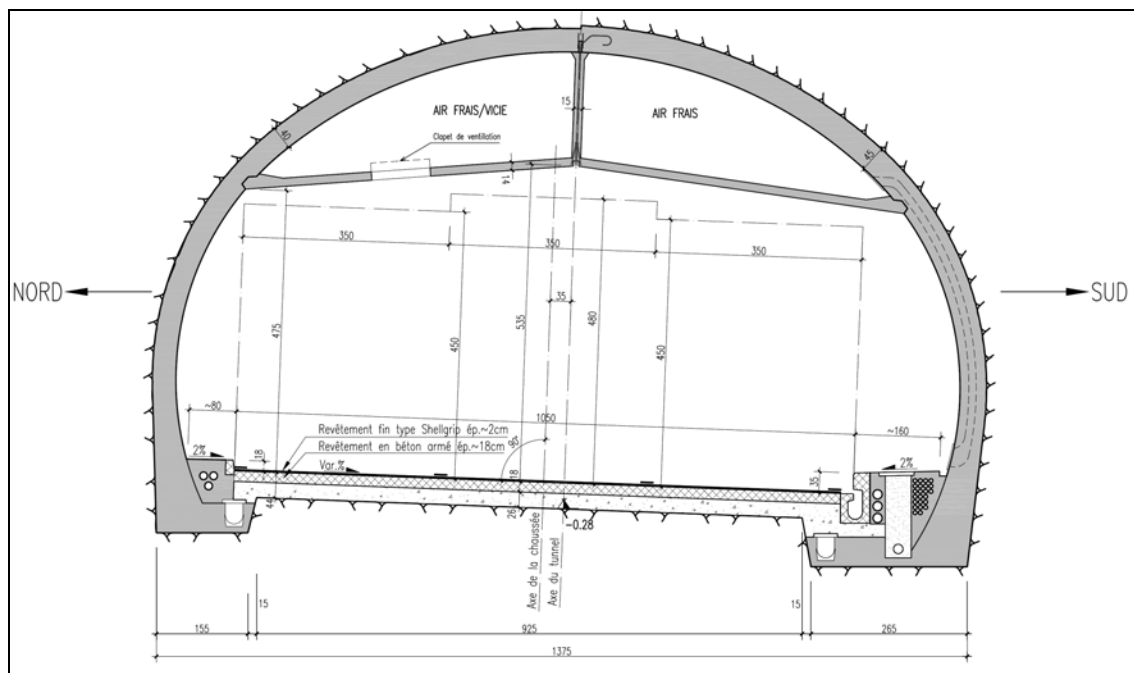


Figure : Profils type A et B



Une étanchéité entre le rocher et le revêtement à l'entrée des tunnels (env. 128m à l'entrée Ouest du tunnel et env. 134m à la sortie Est du tunnel) a été mise en place lors de la réalisation du tunnel. Lors de la construction du tunnel, il a été décidé que, pour des raisons économiques, le solde du tunnel ne serait pas étanchéifié.

A mentionner que des relevés du profil intérieur du tunnel ont été réalisés fin 2013 par le bureau de géomètre Géoconseils SA. La comparaison entre les profils relevés et le profil d'exécution prévu a montré de faibles différences au niveau de la voûte et des parois (max. ~6cm). Les principales différences se trouvent au niveau des pieds-droit et peuvent être absorbées dans la largeur des banquettes.

2.3.2 Portails Ouest (Noiraigue)

Le portail ouest est un édifice en béton armé de 43m de longueur qui assume la triple fonction suivante :

- protection des usagers contre les chutes de pierres,
- transition entre l'extérieur et le tunnel au niveau de l'adaptation à la lumière,
- bâtiment de service, renfermant les deux ventilateurs d'air frais, les installations EM d'alimentation électrique, un poste de commande, un stock de matériel pour l'UT, des WC et un local de gendarmerie.

A l'intérieur de ce portail s'opère la liaison entre l'ancienne RC et le tunnel. En effet, au sud du portail, l'accès à l'ancienne RC est possible.

2.3.3 Portails Est (Brot-Dessous)

Le portail Est est un édifice en béton armé de 25m de longueur prolongé par une galerie couverte de 40m. Celui-ci assume également les fonctions suivantes :

- transition entre l'extérieur et le tunnel au niveau de l'adaptation à la lumière,
- bâtiment de service auxiliaire qui renferme le ventilateur d'incendie et la sortie de l'air vicié ainsi que des installations EM d'alimentation électrique. Un bâtiment accolé au portail contient un garage pour l'UT.

Un important mur de soutènement ancré (mur portail Est) est présent dans toute la zone du portail.

A noter que les deux centrales sont alimentées en haute tension par deux amenées différentes, reliées entre elles par un câble à haute tension.

3. Délimitations et interfaces

Les délimitations et interfaces entre les mandataires des différents domaines (GC, EM, ventilation) doivent être définies clairement par le MO et doivent être prises en compte dans le concept d'intervention. Ceci afin d'éviter qu'un élément indispensable ne soit négligé.

Si les délimitations sont souvent claires en fonction des compétences de chacun, ce sont les interfaces qui peuvent poser problème.

Afin de coordonner au mieux ceux-ci, des séances interdomaines ont été réalisées durant l'établissement du concept d'intervention, principalement entre les mandataires EM et GC.



4. Etat actuel et bases du projet

4.1 Interventions précédentes

A notre connaissance, les interventions et les études suivantes ont été réalisées :

Année	Éléments de construction	Intervention ou étude réalisée	Réalisé par
1972-1975	Ensemble de l'ouvrage	Construction du tunnel de la Clusette.	Entreprises Facchinetti SA, Losinger SA, Reifler & Guggisberg
1986	Revêtement de la chaussée	Le revêtement d'origine de la chaussée du tunnel a été réalisé en béton armé. Celui-ci ayant perdu son adhérence au fil des années, un nouveau revêtement mince de type Shellgrip (ép. ~2cm) a été posé.	--
1990-91	Revêtement de la chaussée	Suite à des problèmes de décollement du revêtement (Shellgrip) sur les voies extérieures, un nouveau revêtement mince de ~2cm a été posé sur ces voies après fraisage.	--
1999	Dalle intermédiaire	<ul style="list-style-type: none">- Lavage à haute pression et rhabillages ponctuels des dégâts du béton.- Application de MFP sur les moitiés nord et sud de la face inférieure et sur le centre de la face supérieure de la dalle intermédiaire.- Mise en place de corbeaux ancrés dans les parois du tunnel pour garantir la stabilité de la dalle intermédiaire.	Association du tunnel de la Clusette
	Voûte du tunnel (galeries de ventilation)	Assainissement local de la voûte pour éliminer les venues d'eau : <ul style="list-style-type: none">- gaine Sud panneaux 25-26-27, étanchéité giclée sur la surface totale de la voûte avec SIKALASTIC 821 ;- gaine Sud panneaux 29-30-31-32, injection entre l'anneau intérieur et le rocher avec SIKA ROCKFILL 10 ;- gaine Nord panneaux 105-106-107, injection des fissures avec de la résine type SIKA INJECTION 29 ;- gaine Nord panneaux 52-53-54, fermeture des fissures par l'application de bandes collées type SIKA COMBIFLEX ; Des câbles chauffants ont été mis en place sur les éléments n°19, 52, 54 et 95 au Nord du tunnel afin d'éviter la formation de glace en hiver.	Association du tunnel de la Clusette



4.2 Investigations ou études précédentes

Année	Éléments de construction	Investigations ou étude réalisée	Réalisé par
1993	Dalle intermédiaire	Etude du plafond intermédiaire.	Bureau FMN
1994	Face inférieure de la dalle intermédiaire	Les dégâts constatés et les problèmes liés à la sécurité structurale définis lors de la vérification ont conduits à la réalisation des travaux d'assainissement et de renforcement de 1999.	Bureau FMN
1994	Ensemble de l'ouvrage	Etude préliminaire pour l'assainissement de l'ouvrage (anneau intérieur, dalle intermédiaire, poussée des roches au portail Est, défense incendie et équipements électromécaniques)	Bureau FMN
1999	Dalle intermédiaire	Analyses concernant la pénétration du MFP dans le béton. Suite aux résultats des dernières analyses, il a été conclu par MFP SA que l'inhibiteur a bien pénétré dans le béton, qu'il se trouve maintenant à des profondeurs correctes et que les concentrations sont suffisantes pour une protection des armatures contre la corrosion.	laboratoire Analytic
2004			laboratoire IMP
2006			laboratoire ilis
2007			laboratoire ilis (rapport d'expertise par Analytic)
2003	Canaux de ventilation	Fin de garantie des travaux d'assainissement de 1999.	SPC et bureau BG
2008	Ensemble de l'ouvrage	Inspection principale de l'ensemble du tunnel avec relevés par panneau des fissures, des dégâts et des venues d'eau. Etablissement d'un plan général avec mise en évidence de l'état des éléments par panneau. Etablissement sur la base des plans d'exécution du dossier de plan en version informatique.	Bureau OPAN concept SA
2009	Dalle intermédiaire	Fin de garantie des travaux de traitement au MFP des dalles intermédiaires de 1999.	SPC et OPAN concept SA
2011	Ensemble de l'ouvrage	Etablissement du dossier d'avant-projet pour la sécurisation du tunnel comprenant les chemins de fuite et la ventilation du tunnel. Sécurisation du tunnel de la Clusette (<i>rapport technique du 15.03.11</i>)	HBI Haerter SA et OPAN concept SA
2011	Portails Est et Ouest, canalisations, défense incendie	Investigations des canalisations et de la DI. Investigations sur les béton des portails et vérifications statiques des portails. Rapport de vérification (<i>version du 13.12.11</i>)	OPAN concept SA
2013	Tunnel et canaux de ventilation	Relevés de la géométrie de l'ouvrage et des canaux de ventilation au droit de chaque joints de entre panneaux pour vérifier la concordance avec le profil type d'exécution.	Geoconseils SA
2015	Ensemble de l'ouvrage	Concept d'intervention – rénovation et sécurisation tunnel de la Clusette, rapport technique ventilation (<i>Rapport du 17.06.15</i>)	HBI
2015	Ensemble de l'ouvrage	Concept d'intervention Assainissement et sécurité tunnel – Equipement d'exploitation et de sécurité. (<i>Rapport du 13.07.15</i>)	CNERN



4.3 Résultats principaux et recommandations

Les résultats principaux et les recommandations donnés suite à l'inspection principale, à l'étude de sécurisation du tunnel et à sa vérification, y compris les investigations sont rappelés pour mémoire ci-après.

4.3.1 Inspection générale 2008

Interventions recommandées dans le dossier d'inspection

N° chapitre (selon rapport d'inspection 2008)	Eléments concernés	Interventions recommandées
6.1	Tube de la Clusette (Tu – C)	Assainissement des parois du tunnel dans le but de supprimer les venues d'eau et restituer aux parois du tunnel un meilleur aspect.
6.2	Canaux de ventilation (CV)	Assainissement de la voûte du tunnel dans le but de supprimer les venues d'eau et les fissures. Traitement des armatures corrodées et assainissement de la surface du béton de la paroi intermédiaire et de la partie supérieure de la dalle intermédiaire.
6.3	Portails et centrales de ventilation (PO)	Traitement des armatures corrodées et petits rhabillages ponctuels.
6.4	Revêtement de chaussée (Tu – C)	Assainissement du revêtement de la chaussée.
	Trottoirs et banquettes (Tu – C)	Remplacement des plaques de béton cassées ou fendues des trottoirs. Assainissement du revêtement en béton des banquettes et remplacement des bordures en mauvais état.
6.5	Système d'évacuation des eaux (Tu – C)	Assainissement et création des installations complémentaires afin de mettre en conformité le système d'évacuation des eaux.
	Caniveaux fendus (Tu – C)	Rhabillage ou remplacement des caniveaux fendus.
6.6	Equipements de sécurité (Tu – C)	Assainissement ou remplacement des équipements de sécurité défectueux ou en mauvais état.

4.3.2 Etude pour la sécurisation du tunnel

Interventions recommandées dans le rapport de sécurisation du 15.03.2011 (HBI/OPAN)

N° chapitre (selon rapport technique du 15.03.11)	Eléments concernés	Interventions recommandées
6.1	Ventilations	Mise en place de ventilateurs de jet sans aspiration.
6.2	Dalle intermédiaire	Sur la base de l'analyse multicritère, le BOAE décide la démolition de la dalle intermédiaire.
6.3	Issues de secours	Sur la base de l'analyse multicritère, le BOAE décide que la variante « galerie parallèle » est retenue. Ce projet comportera 2 issues de secours supplémentaires (5 au total + 2 aux portails). (selon décision SPC, PV N°4 du 22.03.11)



4.3.3 Vérifications et investigations

Interventions recommandées dans le rapport de vérification suite aux investigations et vérifications. Plusieurs interventions recommandées découlent des études précédentes.

N° chapitre (selon rapport de vérification du 20.12.11)	Eléments concernés	Interventions recommandées
5.1	Tube de la Clusette (Tu – C)	Investigations complémentaires relatives à la RAG sur les bétons du tunnel, en particulier sur les éléments en béton-armé.
5.2.2	Portails Ouest et Est	Travaux de purge des falaises surplombant le portail Ouest. Suppression des pierres et blocs ainsi que des arbres morts sur les toitures des portails et des locaux techniques. Entretien annuel de la végétation présente sur ces parties d'ouvrages.
5.2.3	Issues de secours	Travaux pour remise en conformité le tunnel de la Clusette comprenant les interventions suivantes : <ul style="list-style-type: none">• Suppression des venues d'eau présentes dans le tunnel• Démolition de la dalle intermédiaire• Remplacement de la ventilation et des éléments EM défectueux (se référer aux études EM)• Remplacement de la DI et du système de canalisations existant• Remplacement du revêtement de la chaussée• Elargissement de la banquette Nord

4.4 État général de l'ouvrage

A la suite de l'inspection principale de 2008, l'état général de l'ouvrage a été évalué comme défectueux (3).

Suite aux résultats obtenus dans la phase de vérification par les investigations ponctuelles et les vérifications statiques ciblées, cet état a été jugé comme acceptable (2).

Toutefois, en regard des problèmes liés aux venues d'eau dans le tunnel et des non-conformités par rapport aux normes et directives actuelles :

→ **l'état général de l'ouvrage est jugé en état défectueux (3).**



5. Evaluation normative de l'ouvrage existant

5.1 Equipements de sécurité et d'exploitation

Caractéristiques principales		
Construction	-	Octobre 1972 à novembre 1975
Mise en service	-	déc.75
Longueur totale du tunnel	[m]	1'001
Longueur totale de l'ouvrage	[m]	1108
Longueur Portail côté Noiraigue (Béton armé)	[m]	45
Longueur Portail côté Brot-dessus (Béton armé)	[m]	62
Largeur totale à l'intrados	[m]	12.9
Hauteur chaussée (max sous clef de voûte)	[m]	7.24
Hauteur chaussée (max sous dalle intermédiaire)	[m]	5.35
Pente longitudinale	[%]	6.1
Dévers (min / max) ²⁾	[%]	+2.50 /+ 6.00
Vitesse de projet	[Km/h]	80
Peinture intérieure		NON
Piste cyclable		NON
Présence ancrage aux portails		OUI
Zone de protection des eaux		OUI au portail Est
Connexion avec ouvrages militaires		OUI au portail Est
Présence d'une étanchéité		Partielle
Radier contre-voûté		OUI au portail Est
Portails en béton armé		OUI
Tronçon en galerie		OUI au portail Est
Conformité aux normes		
Eléments de sécurité nécessaires (SIA 197/2), l > 300		NON
Chemin de fuite (CF) SIA 197/2 8.8.2.3		NON, 6% max 250 m entre CF
Niches SOS, espacement	< 150 m	NON
Elargissement d'arrêt, b = 3.00, L = 41 m (SIA 197/2)	600 à 900 m	Pas d'élargissement, mais 3 voies -> possibilité d'arrêt et gestion du trafic
Défense incendie, espacement des hydrantes, Q _{min} =20l/s	< 150 m	Espacement OK, Q _{min} à vérifier
Défense incendie, pression		OK
Drainage ø 200 mm,		NON
Drainage curable ? Espacement des chambres. SIA 197/2 (8.7.4.1)	< 75 m	OUI
Système séparatif (massif / chauss.)		NON
Caniveau fendu		OUI
Siphons coupe-feu, espacement	< 50 m	Espacement OK, mais siphons pas alimentés. Couvertures de regards pas étanches et non verrouillés
Ventilation		NON (voir rapport HBI)
Superstructure chaussée suffisante		OUI

Evaluation normative:

Respecte les normes

Respecte partiellement les normes

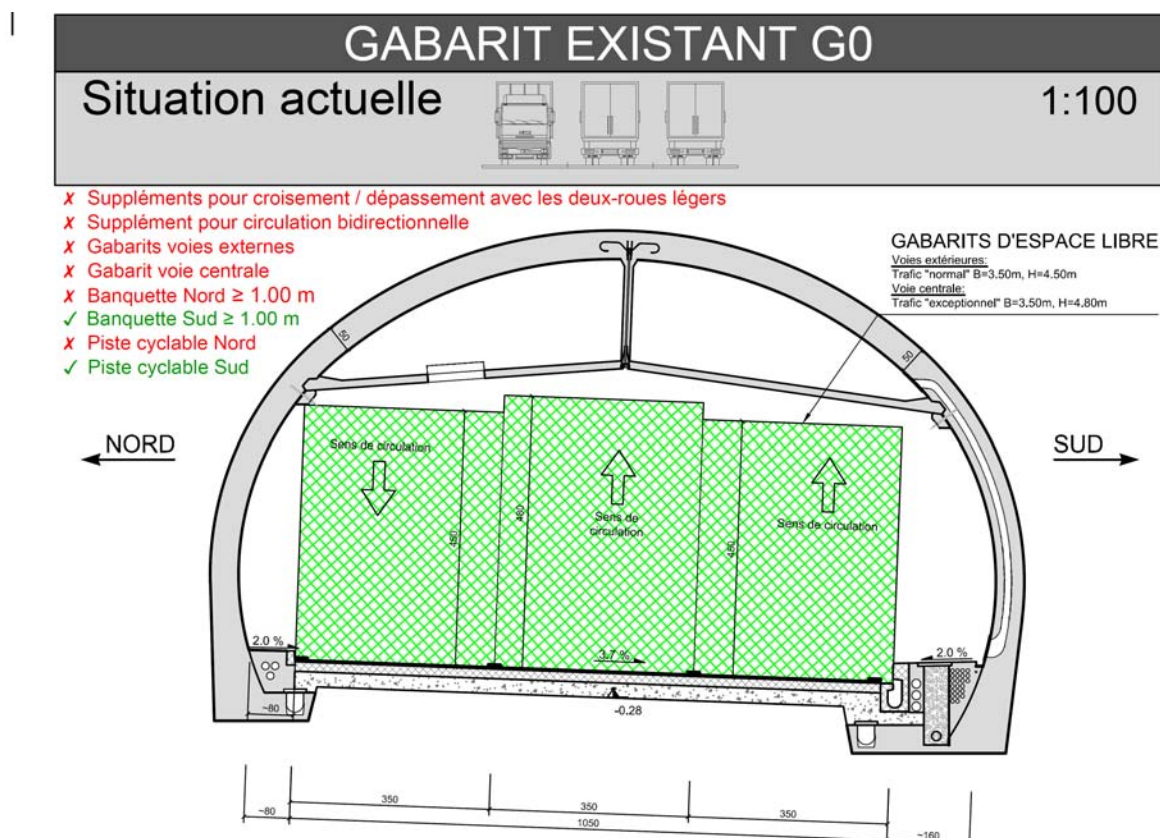
Ne respecte pas les normes



5.2 Géométrie routière

Conformité aux normes		
Longueur de l'alignement (SN 640 100a)	~423m	OK
Longueur minimale de l'arc de cercle (SN 640 100a)	~83m	OK
Rayon minimal de l'arc de cercle (SN 640 100a)	300m	OK
Valeur minimale du paramètre A de la clothoïde (SN 640 100a)	155	OK
Rayon vertical convexe minimal au portail Est (SN 640 110)	3'000m	KO < Rayon convexe recommandé 6'000m
Rayon vertical concave minimal (SN 640 110)	12'000m	OK > Rayon concave recommandé 3'500m
Distance de visibilité d'arrêt minimale (S_A) au portail Est (SN 640 090b)	95 m	KO < S_A (i=6%) = 125m
Pente longitudinale (SIA 197/2)	max 5 %	NON, 6.1 %
Dévers min 2.5 % (SIA 197/2)	Max 5 %	NON, max 6%

5.3 Gabarit de circulation existant



Conformité aux normes		
Hauteur du gabarit d'espace libre (Voie centrale)	4.50 m (4.80m)	OK (convoi exceptionnel)
Réserve de sécurité autour du gabarit	30 cm	NON, moins de 30 cm contre les banquettes
Conforme au gabarit OFROU	4.50 x 7.75 m	OK pour deux voies
Conforme au gabarit SIA	4.50 x 7.50 m	OK pour deux voies
Conformité par rapport à un gabarit 3 voies		NON
Conformité par rapport au gabarit équipements/sécurité SIA		NON
Largeur des banquettes	Min 1 m	NON, d'un côté 80cm

6. Mesures prévues / Concept d'intervention

Suite au rapport d'inspection et de sécurisation de 2010 de nouvelles études ont été réalisées

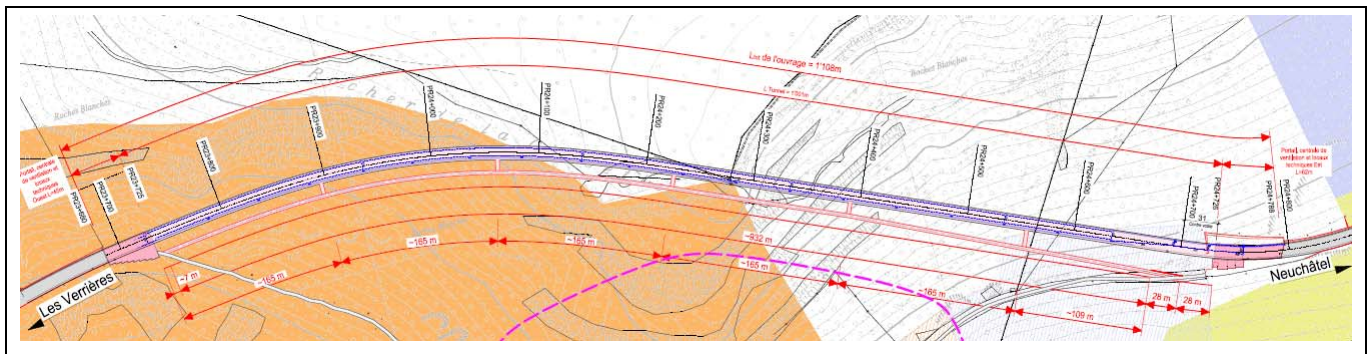
En particulier :

1. Mise à jour du rapport de ventilation HBI, version du 17.06.15 avec analyse d'une variante de ventilation naturelle
2. Rapport Boss, version du 02.02.15
3. Rapport SELM, version du 13.07.15

Les conclusions et résultats suite à ces études supplémentaires ont été intégrés dans le concept d'intervention présenté ci-dessous :

6.1 Galerie de sécurité

Sur la base de l'avant-projet ayant fait l'objet du dossier de synthèse de la sécurisation du tunnel de la Clusette n°00574.200-12A du 15.03.2011, une galerie de sécurité parallèle au tunnel de la Clusette sera réalisée (voir pièce n°8) avec 5 liaisons transversales avec le tunnel existant.



Pour mémoire les caractéristiques principales de cette galerie sont les suivantes :

Situation

Le projet prévoit la création d'une galerie parallèle au Sud du tunnel existant. Le choix de la position de la galerie a été déterminé par :

- Longueur de galerie plus faible au Sud qu'au Nord
- Accès existants (ancienne RC)
- Piste cyclable voie montante

Le tracé de la galerie a été défini en fonction des points suivants :

- Tracé du tunnel existant
- Qualité du massif traversé par la galerie
- Zones des dangers naturels (glissements et chutes de pierres)
- Profil en long du tunnel existant et de l'ancienne RC

En première approche cette galerie sera réalisée à une dizaine de mètres du bord du tunnel existant.

Pour la partie Est, la galerie sortira sur la RC existante le plus rapidement possible afin d'éviter au maximum le terrassement dans un terrain de moindre qualité (Argovien). La position de cette sortie est définie par la géométrie de la galerie (profil en long et tracé) et par les zones de danger (chutes de pierres).



Nombre de liaisons transversales

Selon la norme SIA 197/2 un minimum de trois liaisons transversales avec un espacement de 250 max sont nécessaires.

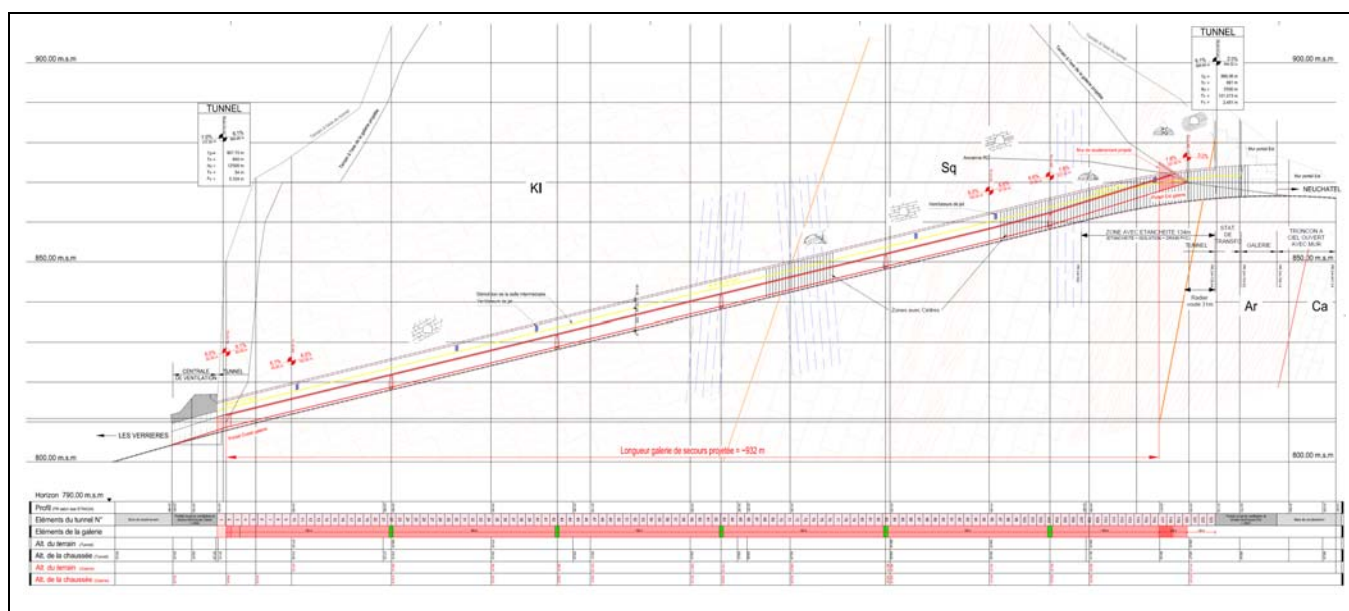
En accord avec le BOA-SPCH-NE afin d'augmenter la sécurité des usagers, il a été décidé d'augmenter le nombre de liaison transversales à 5 et de réduire l'espacement entre celle-ci à 165 m. (voir rapport de sécurisation du 15.03.15 et décision SPC selon PV n°4 du 22.03.11).

Une proposition du bureau HBI, en lien avec la mise en place d'une ventilation naturelle (cf.6.2), est d'augmenter le nombre de liaisons transversales à 8. Le passage de 5 à 8 liaisons permet de réduire le niveau d'intoxication des usagers de 50%. L'opportunité d'augmenter le nombre d'issues de secours de 5 à 8 devra faire l'objet d'une étude dans le cadre de l'établissement du projet de détail et être validée par la BOA-SPC

Le présent rapport se base sur un nombre de 5 sorties.

Profil en long

Le profil en long de la galerie suit quasiment le profil en long du tunnel. Aux extrémités de la galerie des variations entre les profils sont plus importantes.



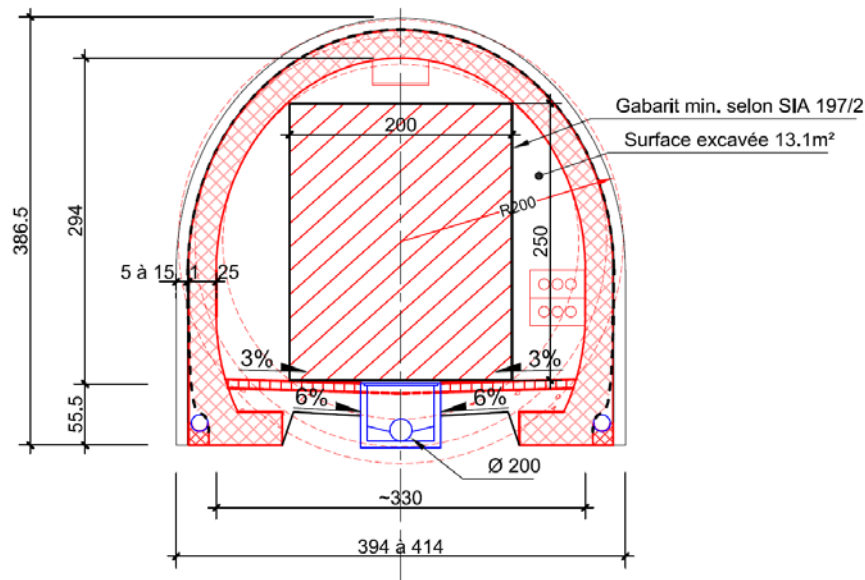


Profil type

Les articles 8.8.4.1 et 8.8.7.2 de la norme SIA 197/2 exigent un profil théorique minimal des liaisons transversales et des galeries parallèles de 2.00m de largeur et de 2.50m de hauteur.

Le profil type a été étudié en prenant compte de cette exigence et du système de ventilation.

Le profil A correspond au minimal pour permettre un gabarit de 2.00m/2.50m.



Profil A

On constate qu'au vu de la géométrie de l'ouvrage, le gabarit est suffisant pour le passage des cyclistes 1.60m/2.40m ou pour le passage de piéton invalide (1.40m/2.20m).

Les dimensions de la galerie permettent également de réaliser une batterie de distribution des câblages principaux de l'EM (éclairage, ventilation, etc.).

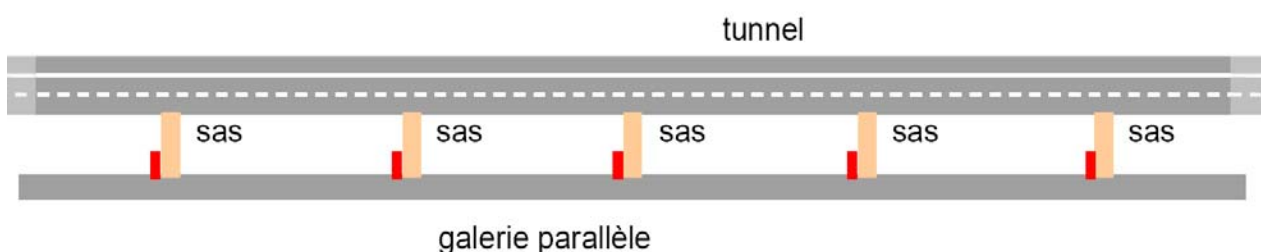
Le passage d'une voiture de tourisme ($v_p=20\text{km/h}$) dont les dimensions selon VSS sont de 2.20m/2.00m est également possible, ce qui est un atout pour l'entretien de la galerie et de l'EM présente.

Le gabarit des galeries transversales (5X) sont plus larges pour permettre la mise en place de la ventilation et d'équipement électromécaniques. (voir pièce n°8)

Système de ventilation des liaisons transversales

Selon art. 8.10.3.7 de la norme SIA 197/2, les liaisons avec le tunnel doivent être ventilées en surpression afin de limiter la pénétration de poussières et d'air corrosif en provenance de l'espace de circulation.

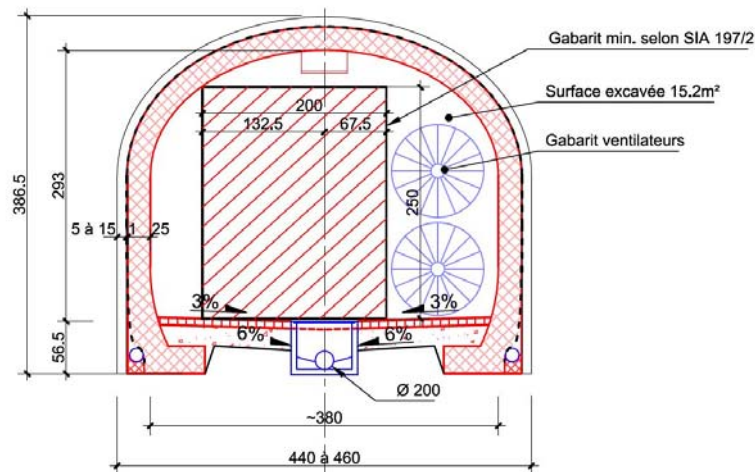
Sur la base d'une comparaison de variante, la variante préconisée consiste à réaliser chaque liaison comme un sas avec une ventilation indépendante.



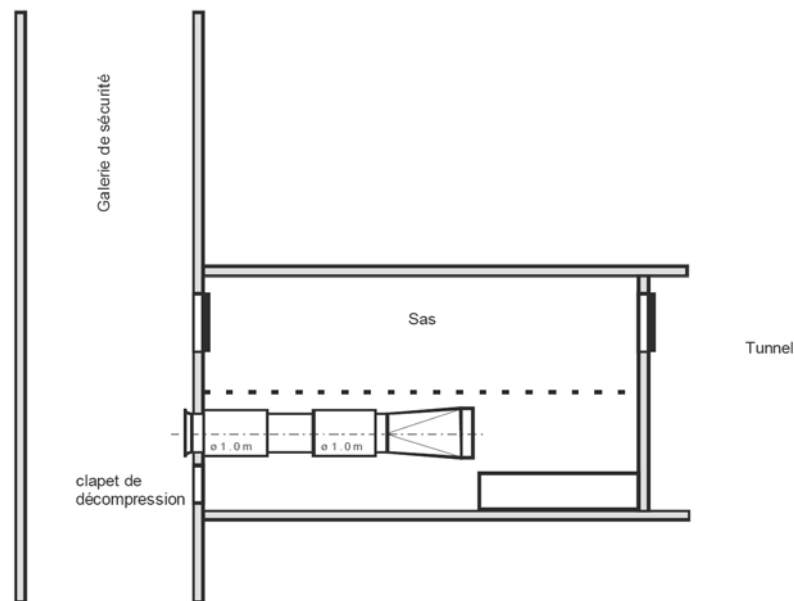
Variante 3 : Liaisons avec sas autonomes

Pour cette variante, chaque liaison sera équipée de deux ventilateurs de 1.5kW chacun. La mise en place de deux ventilateurs par liaison est obligatoire pour assurer qu'en cas de panne ou de réparation d'un des ventilateurs, le deuxième puisse en prendre le relais.

La mise en place de ces ventilateurs dans la liaison nécessite une largeur d'excavation plus importante (voir schéma ci-dessous).



Vue en coupe, liaison transversale avec sas autonome



Vue en plan, liaison transversale avec sas autonome

6.2 Ventilation du tunnel

Le concept de ventilation du tunnel a été étudié et analysé en deux phases :

- En 2011 pour le concept de sécurisation du tunnel avec l'étude de différentes variantes mécaniques (*Rapport technique sécurisation du tunnel de la Clusette du 15.03.11*)
- En 2015 avec l'étude d'une nouvelle variante alternative de ventilation naturelle (**Concept d'intervention – rénovation et sécurisation tunnel de la Clusette, rapport technique ventilation. Rapport HBI du 17.06.15**)



6.2.1 Concept de ventilation proposée lors du concept de sécurisation du 15.03.11

L'étude de la ventilation du tunnel de la Clusette fait également l'objet du dossier de synthèse de la sécurisation du tunnel de la Clusette n°00574.200-12A du 15.03.2011.

Les conclusions présentées dans le rapport de sécurisation de 2011 démontraient l'efficacité de la variante avec ventilateurs de jet sans aspiration.

En effet, les variantes avec aspiration ou avec une ventilation longitudinale par des injecteurs Saccardo impliquaient des interventions conséquentes au niveau de la structure, telles que :

- Création d'une cheminée
- Diverses modifications de la dalle intermédiaire
- Adaptation des centrales de ventilation

Et au niveau de l'EM :

- Nouveaux ventilateurs de jet
- Nouveaux ventilateurs d'aspiration
- Adaptation des centrales de ventilations (puissance électrique)
- Clapets télécommandés

Bien que le système de ventilateurs de jet retenu nécessite des adaptations au niveau de la structure, ces interventions restent relativement faibles vis-à-vis de celles nécessaires à la réalisation d'une des autres variantes.

La mise en place de cette ventilation est facilitée par la décision prise de démolir la dalle intermédiaire (voir chapitre suivant). Pour garantir une circulation aérodynamique convenable des dalles intermédiaires aux extrémités du tunnel (voir pièce n°9).

La distribution principale de l'alimentation des ventilateurs se fera par la galerie de sécurité. Les liaisons secondaires passeront dans les batteries de tubes présentes dans les banquettes et seront amenées en voûte dans les saignées (existantes ou à réaliser) des parois du tunnel.

6.2.2 Concept de ventilation naturelle

Une variante de ventilation naturelle sans dalle intermédiaire a été étudiée par le bureau HBI pour le tunnel de la Clusette. Les conclusions du rapport HBI du (version 1.2 du 17.06.15) sont :

« Une ventilation naturelle offre un niveau de sécurité en cas d'incendie égal voire supérieur à celui pour une ventilation mécanique. »

Cette variante permet de s'affranchir complètement du système de ventilation engendrant ainsi des économies importantes tout en maintenant la sécurité de l'ouvrage. »

En parallèle à l'étude de la variante de ventilation naturelle, le bureau HBI met en évidence que la réalisation de 3 issues de secours supplémentaire (8 au lieu de 5) permet de réduire le risque, quantifié en termes du niveau d'intoxication globale des usagers de 50%.

- **Au vu des différentes études il est proposé de retenir la variante de la ventilation naturelle pour le tunnel de la Clusette.**

6.3 Démolition dalle intermédiaire

Suite à l'inspection réalisée par le SPC et le bureau OPAN en 2009 et l'étude relative à la ventilation réalisée par HBI (*rapport du 17.06.15*), une analyse multicritère concernant la pertinence de conserver la dalle intermédiaire existante a été faite. Elle est synthétisée dans le tableau ci-dessous :



Incendie	Protection de la voûte du tunnel	😊		😞	En cas d'incendie, la dalle protège la structure du tunnel (selon expérience de HBI, la température sur la structure passe d'env. 1300°C à ~300°C).
	Résistance au feu de la dalle intermédiaire insuffisante en première approche	😞		😊	Etant donné le faible recouvrement des armatures inférieures et la faible épaisseur de la dalle, la résistance de celle-ci en cas d'incendie semble insuffisante en première approche.
Entretien	Inspections et investigations périodiques	😊		😊	La dalle en béton armée nécessite des inspections et des investigations périodiques. Etant donné l'atmosphère agressive du tunnel et la conception de la dalle (recouvrement faible des armatures, éléments sous tension), celle-ci demande un assainissement périodique.
	Assainissements périodiques	😞		😊	
Ventilation : Ventilateurs de jet	Surface du profil à ventiler plus faible	😊	Surface du profil à ventiler plus grande	😊	Cette augmentation du profil n'a que peu d'influence sur le dimensionnement de la ventilation. Toutefois, le démontage complet de la dalle intermédiaire procure un espace de trafic plus grand qui est favorable en cas d'incendie (couche de fumée en voûte).
	Création de 4 niches de ~50m de longueur pour la mise en place des groupes de ventilateurs de jet	😊	Travaux de démolition plus importants.	😞	La mise en place des ventilateurs nécessite la démolition partielle de la dalle intermédiaire et le bétonnage d'éléments de dalle en biais à chaque extrémités de ces niches
Ventilation naturelle	Pas évaluée, la ventilation naturelle est uniquement pertinente sans la dalle intermédiaire	😊	Niveau de sécurité supérieur à la ventilation mécanique	😊	La ventilation naturelle avec un profil sans dalle intermédiaire permet de garantir un niveau égal voir supérieur à la ventilation mécanique
Surveillance de l'ouvrage	Etat de la voûte difficile à contrôler	😊		😊	La surveillance de l'état de la voûte du tunnel est rendu plus difficile par la présence de la dalle. Des accès supplémentaires devront être créés aux droit des niches pour permettre la surveillance.
Gabarit	Diminution de la hauteur libre	😊	Augmentation de la hauteur libre	😊	La suppression de la dalle permettrait le passage de véhicules de grande hauteur (nécessiterait la dépose des ventilateurs)
EM existant	Pas de modification des fixations de l'EM existante (luminaire, signalisation, etc.)	😊	Modification des fixations de l'EM existante (luminaire, signalisation, etc.)	😊	L'adaptation de la fixation des éléments accrochés à la dalle devra être réalisée. Toutefois, lors de l'assainissement du tunnel, les éléments EM existants seront certainement remplacés.
Assainissement du tunnel	Complicite la réalisation de l'assainissement du tunnel	😞	Facilite la réalisation d'un assainissement	😊	Dans le cadre de l'assainissement du tunnel, notamment de la mise en place d'une étanchéité, la dalle serait un obstacle.

→ Sur la base de cette analyse, la décision a été prise de démolir la dalle intermédiaire présente dans le tunnel.

Deux variantes pour la démolition par « croquage » de la dalle ont été étudiées par l'entreprise Von Arx, soit :

1. Démolition de nuit avec rétablissement de la circulation la journée
2. Démolition de jour avec fermeture complète du tunnel

Ces deux variantes ont été devisées et leurs temps de réalisation estimés par Von Arx le 26.05.14.

Pour la variante 1, la durée des travaux est estimée à 8 semaines. Pour cette variante, le temps de travail est fixé entre 22h00 et 6h00. Le matin, deux voies sont rendues à la circulation, une voie servant au stockage des matériaux, notamment pour la grave recyclée utilisée comme « matelas » pour protéger la chaussée.



Pour la variante 2, la durée d'intervention est fixée à 3 semaines.

Pour les deux variantes, le maintien ou le rétablissement des installations EM est un paramètre important, particulièrement pour l'éclairage et la ventilation. On constate que pour la variante 1, cette problématique est encore plus sensible.

Ces points sont traités plus en détail dans le chapitre 7.

6.4 Définition des gabarits

6.4.1 Variantes de gabarit pour le tunnel

Sur la base des normes actuelles, notamment des SIA 197 et 197/2, ainsi que des SN 640'200a, 640'201 et 640'202, plusieurs variantes de gabarits ont été étudiées. Plusieurs variables ont été utilisées pour générer ces variantes, notamment :

- Respect du profil du tunnel existant
- Nombre de voies de circulation
- Circulation des cyclistes sur la voie descendante
- Circulation des cyclistes sur la voie montante ou dans la galerie de sécurité
- Largeur des voies
- Vitesse dans le tunnel
- Largeur des banquettes
- Suppléments pour croisement
- Gabarits EM :

La pièce n°10 présente les différentes variantes de gabarits étudiés et évalue celles-ci en fonction des variables ci-dessous.

Afin de confirmer que la géométrie du gabarit du tunnel corresponde au profil type projeté lors de la construction du tunnel, et ainsi éviter d'éventuels conflits entre le gabarit futur et les parois du tunnel, le bureau Geoconseil SA a réalisé le relevé du tunnel. Ces relevés ont consisté au relevé du profil du tunnel à chaque joint de reprise, soit env. tout les 8m.

Ces relevés ont ensuite été comparés au profil type prévu pour lors de la construction.

Aucun écart notable n'a été relevé sur les parois aux points supérieurs du gabarit. Toutefois, des écarts de l'ordre de 15 à 20cm ont été constatés sur la largeur du tunnel. Ces différences ne sont pas fortement préjudiciables, car elles pourront être absorbées sur la largeur des banquettes.

6.4.2 Gabarit retenu

Sur la base de l'étude de variante, le SPC a défini un gabarit pour le tunnel permettant de garantir au maximum le respect des conditions dictées par les normes/directives et la géométrie actuelle et future du tunnel.

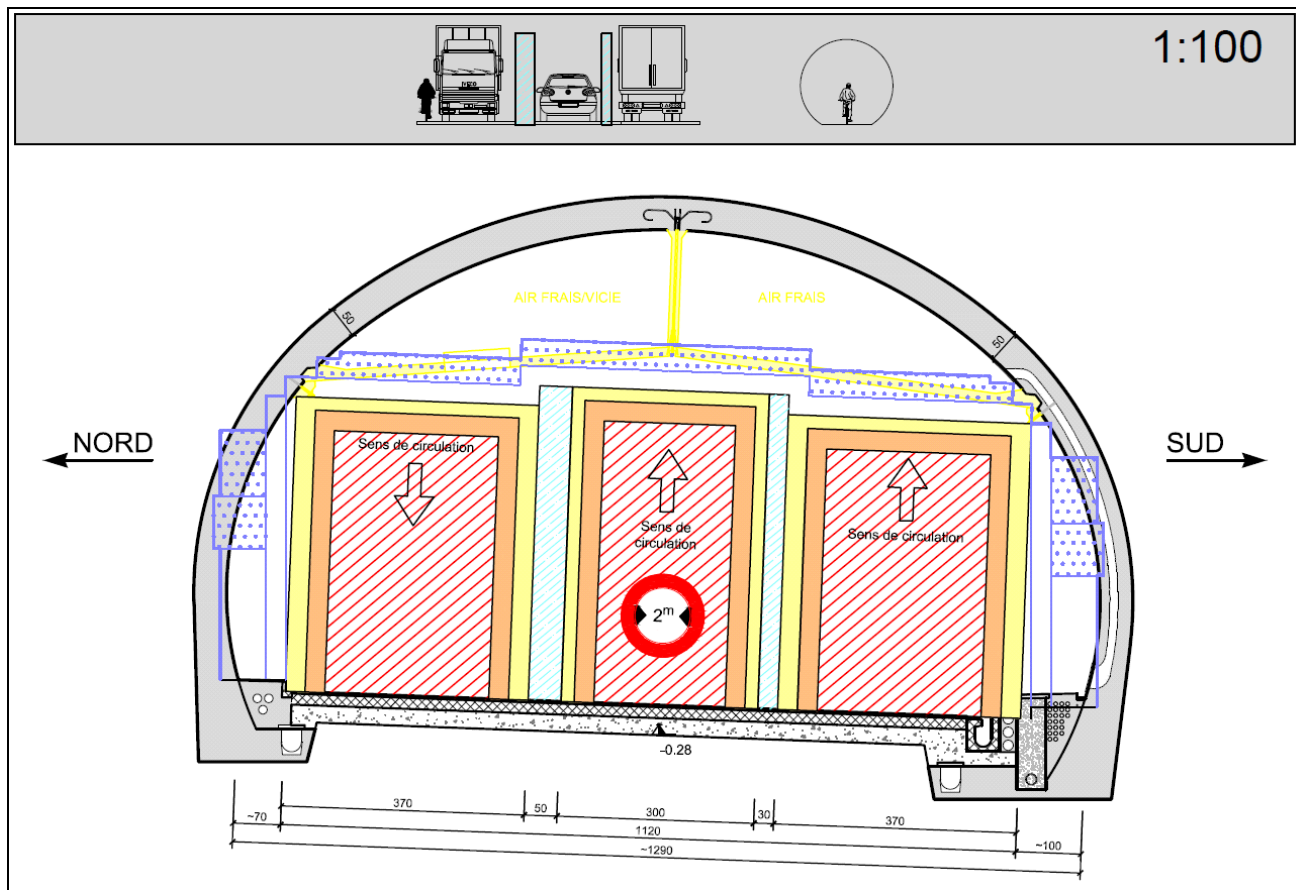
Les critères/décisions suivants ont été considérés (selon séance du 14.03.2014) :

- Circulation des cyclistes à la montée dans la galerie de sécurité (selon discussion avec les organisations Provélo)
- Circulation des cyclistes sur la chaussée à la descente, mais supplément pour croisement de 50cm entre la voie descendante et la voie rapide montante
- Il est admis que la largeur des banquettes peut être inférieure à 1.00m, notamment au Nord. Il est également admis que la marge de sécurité de 30cm des gabarits peut être prise sur la banquette, pour autant que la hauteur de celle-ci soit inférieure ou égale à 12cm.
- Le gabarit EM donné dans la norme SIA 197/2 n'est pas appliqué. Le mandataire EM s'adapte au gabarit donné par le SPC.



- La voie centrale interdite au véhicule d'une largeur supérieure à 2.00m.
- Un supplément pour croisement de 30cm entre la voie rapide et la voie lente montante est mis en place.
- Pour la voie centrale, y compris les suppléments pour croisement, soit sur une largeur de 3.80m, la hauteur sera de 4.80m afin de permettre le passage des convois exceptionnels.

Le gabarit retenu correspondant est le suivant :



Gabarit retenu

Sur la pièce n°11 figure les détails des dimensions retenues pour le gabarit.

A signaler que la marge entre le bord du gabarit (marge de sécurité) et la paroi du tunnel est d'env. 15cm par côté.

Ce gabarit a été validé par le chef de l'office des routes cantonales, le chef de l'office de l'entretien et l'ingénieur cantonal le 21 juillet 2014 suite à une consultation interne.

Toutefois, si les travaux d'assainissement du tunnel ne devaient pas modifier la géométrie des parois du tunnel, le maintien du gabarit existant n'est pas écarté.

6.5 Modification des banquettes

Au vu de l'état des banquettes existantes, notamment les bordures et les caniveaux fendus ainsi que des couvercles des chambres et des siphons coupe-feu, il est préconisé de les remettre en état.

De plus, pour permettre l'amélioration du gabarit, la géométrie des banquettes doit être modifiée, notamment en limitant la hauteur des banquettes à 12cm (valeur limite pour chevaucher avec la marge de sécurité la banquette).



6.5.1 Evacuation des eaux de chaussée et des eaux du massif

Dans le cadre du remplacement des banquettes, afin de respecter les normes, les eaux du massif seront séparées des eaux de chaussée. Le nouveau collecteur pour les eaux du massif permettra de reprendre les eaux de drainage captées par les forages drainants et les saignées drainantes.

Le projet prévoit le remplacement des caniveaux fendus et des chambres siphon coupe-feu. Une alimentation de ces siphons sera mise en place afin de garantir leur fonctionnement en permanence.

Les eaux de chaussée sont récoltées et acheminées dans un séparateur d'huile présent au km23.490 (voir fiche en annexe C).

Selon l'inspection réalisée en 2011, ce séparateur est en état acceptable. Toutefois, celui-ci devrait être équipé d'une vanne automatique permettant sa fermeture en cas d'accident avec des produits polluants ou pour permettre la récolte des eaux de lavage des tunnels.

6.5.2 Défense incendie

Les investigations sur la DI ont montré que celle-ci est dans un état détérioré.

Le diamètre existant de la conduite est 150mm. Bien que ce diamètre soit inférieur aux directives OFROU (diam. 200mm), à première vue, le débit (min. 20l/s selon norme SIA197/2) et la pression actuelle (min. 6bars selon norme SIA 197/2) sont suffisants, mais ces points devront être vérifiés dans les études futures.

Pour mémoire, la DI est alimentée depuis Brot-Dessous par l'intermédiaire d'une chambre de connexion sur une conduite intercommunale (propriétaire à définir). Les bornes hydrantes sont disposées au sud du tunnel tous les ~145m.

A noter que de fortes pertes d'eau (~3m³/j) ont été constatées sur cette conduite, que la fuite se situe dans le tunnel, mais que sa position exacte n'a pour l'heure pas été définie. Ces pertes confirment le mauvais état de la conduite.

Il est prévu de mettre la nouvelle conduite sous le bord de la chaussée, la place à disposition dans la banquette étant trop restreinte. Le remplacement des hydrantes doit être étudié, les essais de pression réalisés à partir de celles-ci en 2011 avaient montrés qu'elles n'étaient pas parfaitement étanches, mais elles étaient en état acceptable.

Les hydrantes seront déplacées dans les niches SOS qui seront créées aux extrémités des liaisons avec la galerie de fuite, soit tous les ~165m. Afin d'améliorer la sécurité des usagers, de nouvelles hydrantes seront mises en place au nord de la chaussée. La mise en place de ces hydrantes supplémentaires nécessitera la création de niches au nord du tunnel.



6.6 Géométrie routière

La mise à niveau des éléments de géométrie routière du tunnel qui ne sont pas conformes aux normes et directives (pente en profil en long, dévers et distance de sécurité au portail Est) impliquerait des travaux extrêmement importants.

Dès lors, au vu de l'accidentologie du tronçon (selon connaissance du SPC, il n'y a eu aucun accident grave sur le tronçon depuis l'ouverture du tunnel), aucuns travaux de mise aux normes relatives à la géométrie routière n'est prévu. En cas d'abaissement du niveau de la chaussée servant à réaliser une variante d'assainissement du tunnel, le profil en long sera étudiée et dans la mesure du possible améliorée.

6.7 Rénovation de la chaussée

Le revêtement de chaussée est composé de 2cm de SPA8 (à confirmer par des prélèvements si nécessaire) appliqué sur des plaques en béton armé goudonnées d'une épaisseur de 18cm, elles-mêmes fondées sur 15cm de grave (hors mis la zone avec radier vouté).

Le revêtement existant de la chaussée (2cm supérieurs) est en état détérioré. Pour mémoire, la surface des plaques en béton ne présentait plus une qualité antidérapante suffisante. Au niveau de la portance, aucune déformation importante n'est apparente.

Dans le cadre de l'assainissement du tunnel, il est envisagé de renouveler l'entier de la structure de la chaussée. Ces travaux seront nécessaires sur une partie de la chaussée pour la réalisation de la nouvelle DI et des nouvelles banquettes.

Etant donné la portance très élevée du sol (S4) et la charge de trafic T₃₀, la superstructure sera composée de 15 cm de grave non traitée et de 13 cm d'enrobé (5cm d'AC 11S et 8cm d'ACT 22N). L'épaisseur de la superstructure existante étant supérieure à celle projetée, le terrassement du rocher sera nul ou limité.

6.8 Assainissement des parois et de la voûte du tunnel

Les parois et la voûte du tunnel de la Clusette présentent une fissuration marquée avec des venues d'eau ponctuelles. Si l'on excepte le coté esthétique de ces fissures marquées par des formations de calcite, le problème principal est dû à la formation de glace sur les parois et la chaussée en hiver.

En effet, la présence de glace nécessite l'intervention du service d'entretien pour l'éliminer pour éviter les risques liés à sa présence pour les usagers de la route.

Afin de limiter ce phénomène, plusieurs interventions ont été réalisées depuis la création du tunnel, notamment par la mise en place de fils chauffants dans plusieurs descentes d'eau.

Actuellement, étant donné la présence de la dalle intermédiaire, les venues d'eau de la voûte du tunnel ne sont pas visibles et sont récoltées sur la dalle.

A mentionner que lors des travaux réalisés en 1999 (voir chapitre 4.1) divers essais ont été réalisés pour le colmatage de ces fissures, sans qu'une solution ne donne de résultats probants et qu'elle soit retenue pour l'assainissement.

Selon les inspections et les vérifications réalisées préalablement, aucun signe de désordre structural n'est apparent. Dès lors, l'assainissement du tunnel n'a pas fonction de renforcement, mais concerne uniquement l'exploitation.



6.8.1 Variantes d'assainissement

Sur la base de nos études précédentes relatives à l'assainissement des tunnels, plusieurs variantes d'assainissement ont été étudiées. Ces variantes font l'objet de la pièce n°12.

Comme énoncé plus haut, l'assainissement doit permettre en priorité d'éviter les venues d'eau et dans la mesure du possible rendre un aspect uniforme aux parois ainsi que d'augmenter son gabarit.

Les variantes ci-dessous ont été étudiées :

Variante A0 : Ne rien faire.

Variante A1 : Assainissement complet du tunnel (démolition de l'anneau existant et reconstruction).

Variante A2 : Nouvel anneau intérieur avec mise en place d'une étanchéité et remplacement des banquettes.

Variante A3 : Réparations ponctuelles (saignées drainantes) et remplacement des banquettes.

Variante A4 : Démolition partielle de l'anneau avec mise en place d'une étanchéité et d'un nouvel anneau ainsi que le remplacement des banquettes.

Variante A5 : Réparations ponctuelles (saignées drainantes) avec mise en place sur la surface du tunnel d'un béton projeté d'une épaisseur de 4cm et remplacement des banquettes.

Variante A6 : Plaques d'aluminium 8cm avec mise en place d'une étanchéité et remplacement des banquettes.

Variante A7 : Abaissement du niveau de la chaussée d'env. 20cm pour permettre la mise en place d'un anneau intérieur avec étanchéité.

La variante « Création d'un second tube » sert de variante maximale pour ce projet.

6.8.2 Comparaison des variantes

Le tableau de comparaison des variantes figure en annexe D.

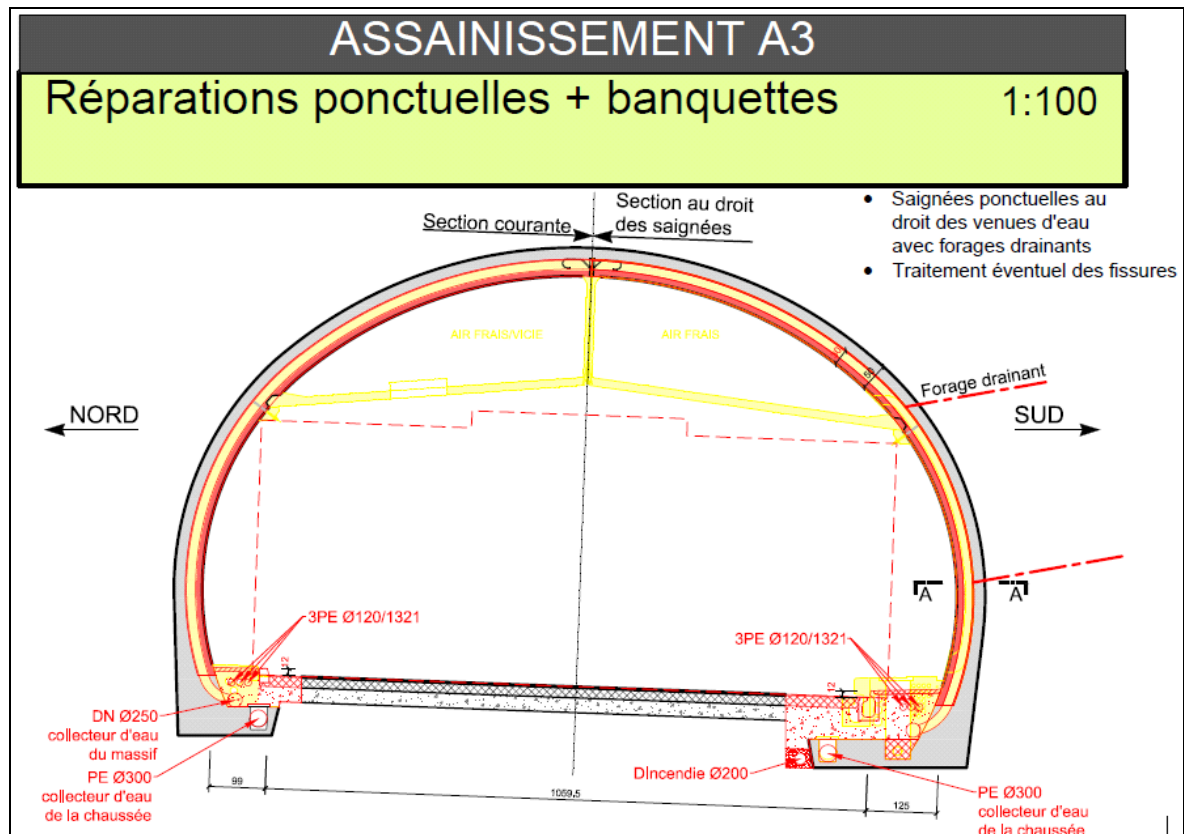
Sur la base de cette comparaison, les variantes A3 et A7 ont été retenues pour être développées plus en détail.

6.8.3 Variantes retenues

Variante A3 : Cette variante est une variante minimale qui consiste à la création de saignées par hydro démolition dans les parois existantes au droit des venues d'eau. Des forages drainants servant au captage des eaux du massif seront exécutés dans ces saignées.

Un collecteur sera mis en place dans la saignée, les forages drainants étant liés à ce collecteur. Les saignées seront fermées par un système démontable (entretien du système) et étanche.

Ces saignées seront récupérées dans les collecteurs principaux aux pieds des parois du tunnel.



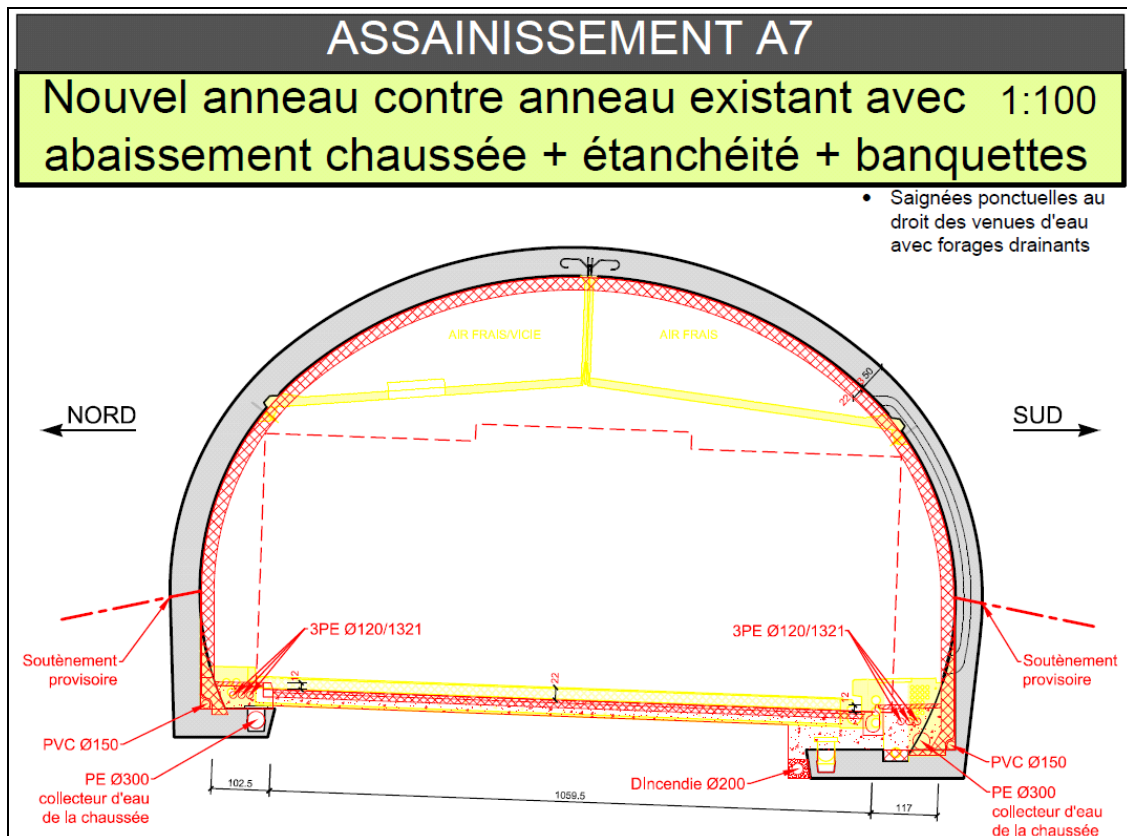
Le but de ce système est de capter les eaux du massif qui provoquent les inconvénients principaux pour le tunnel, soit la formation de glace sur les parois et sur la chaussée du tunnel en hiver.

Il a également l'avantage d'être évolutif, à savoir, si dans le futur de nouvelles venues d'eau sont constatées, il est possible de les traiter de manière identique.

Au niveau esthétique, cette variante ne permet pas de rendre aux parois du tunnel un aspect plus uniforme.

La mise en place d'une peinture permettrait de ponter quelques petites fissures et améliorerait l'aspect.

Variante A7 : Cette variante consiste en la mise en place d'une étanchéité et d'un nouvel anneau intérieur de 18 à 20cm d'épaisseur.



Pour permettre la réalisation de cet anneau, sans conflit avec le gabarit retenu, l'abaissement du niveau de la chaussée d'environ 20cm est nécessaire.

De plus, au vu de la géométrie de l'ouvrage, l'abaissement de la chaussée conduit à la démolition d'une partie des pieds droits pour permettre de maintenir la largeur du tunnel existant. D'un point de vue statique, cette démolition devra être stabilisée provisoirement par la mise en place de renforcement tel que clous.

6.8.3 Analyse des variantes

Actuellement les deux variantes retenues présentent les avantages et les inconvénients principaux suivants :

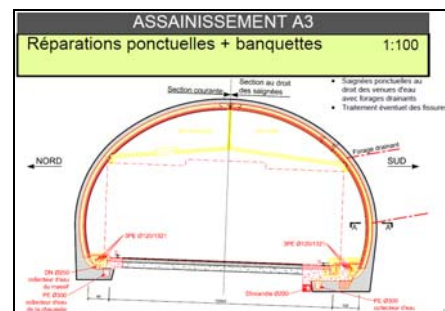
➤ Variante 3 : Création de saignées avec forages drainants

Avantages :

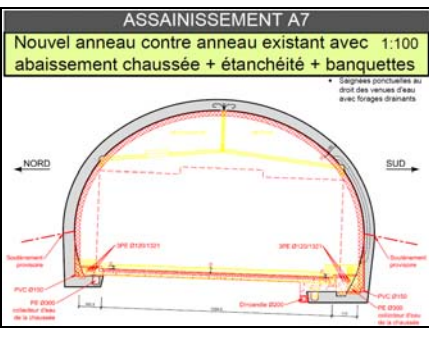
- Coûts réduits
- Durée des travaux et utilisation de ressources réduites

Inconvénients :

- Aspect des parois inchangé (éventuellement peinture)
- Incertitudes quant au résultat obtenu



➤ Variante 7 : Nouvel anneaux intérieur

<p>Avantages :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Aspect des parois neuf - Mode d'assainissement connu et maîtrisé - Possibilité de créer des forages drainants (idem Var.3) <p>Inconvénients :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Coût important - Durée et utilisation de ressource importantes 	
--	--

6.9 Travaux tests – Réalisation de saignée et forages drainants (variante A3)

6.9.1 Réalisation

Dans le but de valider la faisabilité de la variante A3, il a été décidé en accord avec le SPC de réaliser deux saignées comprenant chacune deux forages drainant de 4 m. Les eaux du massif sortant des forages drainants sont canalisées dans des tubes posés dans les saignées et ces tubes sont reliés au collecteurs via les chambres situés dans la banquette. Une plaque inox recouvre referme les saignées.

Pour réaliser les travaux la voie descente a été fermée au trafic avec une réduction de la vitesse à 60 km/h

Les coûts de réalisation de ces travaux tests se montent à env. 100'000.-. Cependant ce prix n'est pas représentatif par rapport à une réalisation plus étendue en raison du caractère ponctuel et limité des travaux réalisés sans mise en concurrence.

	
<p>Réalisation des forages drainants</p>	<p>Pose des descentes de tubes dans les saignées</p>

6.9.1 Résultats des travaux tests

La réalisation des travaux (forages, saignées, pose des drainages, etc...) s'est déroulée sans problèmes majeurs avec une entrave limitée sur le trafic (fermeture d'une voie et abaissement de la vitesse à 60 km/h au lieu de 80 km/h).

La liaison entre les tubes de descentes et les chambres situées dans la banquette n'a pas pu être réalisée. En effet le couvercle de chambre n'a pas pu être ouvert (rouille, vétusté, etc...). Aussi les



descentes de drainage ont été positionnées dans la rigole existante entre la banquette et le parement.

Les forages réalisés n'ont à ce jour pas permis de capter des venues d'eau importantes. L'explication est que la plupart des venues d'eau se trouvent en calotte et que les travaux tests ont pu être réalisés uniquement sur le parement, la dalle intermédiaire rendant impossible les forages en calotte.

6.9.1 Conclusions

Les travaux tests ont montrés la faisabilité de cette méthode. Pour une réalisation à futur il faudrait s'assurer de forer à l'endroit de fissures/zones actives (arrivées d'eau) situé en grande partie dans la zone de la calotte. Un démontage de la dalle intermédiaire est nécessaire pour appliquer cette méthode de manière efficace.

Le captage des venues d'eau devra être mis en oeuvre indépendamment de la méthode d'assainissement choisie A3 ou A7. La suite des travaux concernant le captage des venues d'eau pourrait être réalisé de la manière suivante :

→ **Démontage de la dalle intermédiaire**

→ **Identification des fissures actives et venues d'eau**

→ **Réalisation des forages aux droits des fissures actives**

6.10 Mise à niveau des équipements de sécurité et d'exploitation

La mise à niveau de tous les équipements de sécurité et d'exploitation du tunnel est prévue. Le détail est donné dans le rapport du CNERN présent dans ce dossier (rapport CNERN du 13.07.15).

Concernant les bornes SOS, comme pour les hydrantes, celles-ci seront mises en place aux extrémités des liaisons avec la galerie de fuite, au sud du tunnel, tous les 165m.

De nouvelles niches SOS seront créées au nord du tunnel face aux bornes SOS sud. Les coffrets SOS existants seront supprimés, leur utilisation hors d'une niche étant rendue difficile par le bruit ambiant.

6.11 Locaux techniques existants et futurs

L'adaptation des locaux techniques existants ou leur agrandissement permettant la mise à niveau des équipements sont détaillés dans le rapport du CNERN présent dans ce dossier.

7. Exécution, gestion du trafic, programme

7.1 Mode d'exécution

7.1.1 Galerie de secours et liaisons

Le percement de la galerie de fuite et des liaisons entre le tunnel et la galerie a été prévu par l'entreprise Infra Tunnel, auteur du devis estimatif, de manière traditionnelle, à savoir par minage.

Ces travaux seront indépendants du tunnel et devraient être réalisés en majeure partie sans avoir d'impact sur celui-ci. En effet, les fronts d'attaque, qu'ils soient à l'Est ou à l'Ouest sont hors de la chaussée de la H10. Il peut être attendu des perturbations lors de la mise en place des installations de chantier et évidemment lors du percement final des liaisons entre la galerie et le tunnel.

Le percement et l'aménagement de la galerie seront les premières interventions réalisées sur le tunnel.



7.1.2 Démolition de la dalle intermédiaire

Suite à la réalisation de la galerie de fuite, les travaux de démolition de la dalle intermédiaire seront entrepris. Comme mentionné au chapitre 6.3, il est prévu d'effectuer cette démolition par « croquage » du béton.

En première approche, la variante avec une fermeture complète du tunnel paraît la variante la plus sûre et la plus économique.

Afin de préserver au maximum la chaussée existante, un matelas de matériaux de recyclage sera mis en place. Les matériaux d'évacuation seront chargés et évacués en décharge.

Les corbeaux mis en place au bord des dalles seront enlevés au fur et à mesure de l'avancement.

7.1.3 Gestion de la ventilation et de l'éclairage durant les travaux

L'éclairage existant et la signalisation qui sont actuellement fixés à la dalle intermédiaire seront déposés pour évacuation ou pour remise en place provisoire.

Durant les travaux de démolition de la dalle, la ventilation et l'éclairage seront assurés par l'entreprise.

Le ventilateur d'extraction de fumée au portail Est sera déposé durant les travaux de démolition de la dalle intermédiaire, les ouvertures seront bétonnées et une nouvelle dalle sera bétonnée à l'extrémité du tunnel (fonction aéraulique).

Les ventilateurs présents au portail Ouest seront conservés provisoirement pour servir de ventilateurs de secours en cas de sinistre lors des travaux d'assainissement.

En effet, durant la phase entre la démolition de la dalle intermédiaire existante et la pose des nouveaux ventilateurs de jet, la ventilation n'est plus assurée. Si pour l'exploitation normal du tunnel, cela n'a pas d'incidence majeure (effet de cheminée dû à la pente importante du tunnel), en cas de sinistre l'évacuation des fumées n'est pas assurée. Dès lors, la proposition est faite par le Selm de conserver les ventilateurs d'air frais existants et de les utiliser en cas de sinistre. Cette proposition doit être étudiée en détail afin de définir l'efficacité de cette mesure et le cas échéant de mettre en place des ventilateurs de secours supplémentaires.

Ces ventilateurs seront déposés suite à la pose des nouveaux ventilateurs de jet. Ensuite les trappes d'accès et la nouvelle dalle d'extrémité seront bétonnées.

Un éclairage provisoire sera mis en place avant la réouverture du tunnel. La mise en place de l'éclairage définitif n'est pas possible, les travaux d'assainissement n'étant pas réalisés.

7.1.4 Assainissement du tunnel

La phase principale des travaux concerne les travaux d'assainissement du tunnel.

Bien qu'actuellement la variante d'assainissement ne soit pas définie et que la décision de réaliser les travaux d'assainissement de la chaussée ne soit pas arrêtée, les travaux suivants sont prévus indépendamment du choix de la variante finale.

Remplacement des banquettes : Pour permettre le démontage des banquettes, les câbles présents dans les batteries seront supprimés et remplacé soit par des câbles provisoires soit par les nouveaux câbles présents dans la galerie (pour plus de détails voir rapport du CNERN). Les canalisations et caniveaux fendus seront remplacés par étape de l'Est à l'Ouest afin de conserver durant le chantier une évacuation de l'eau de chaussée et du massif.

Remplacement de la défense incendie : Pour assurer la défense incendie dans le tunnel durant les travaux, sur les zones où la conduite existante est supprimée, une coursive sera mise en place provisoirement avant que la nouvelle conduite soit mise en service.

7.2 Gestion du trafic

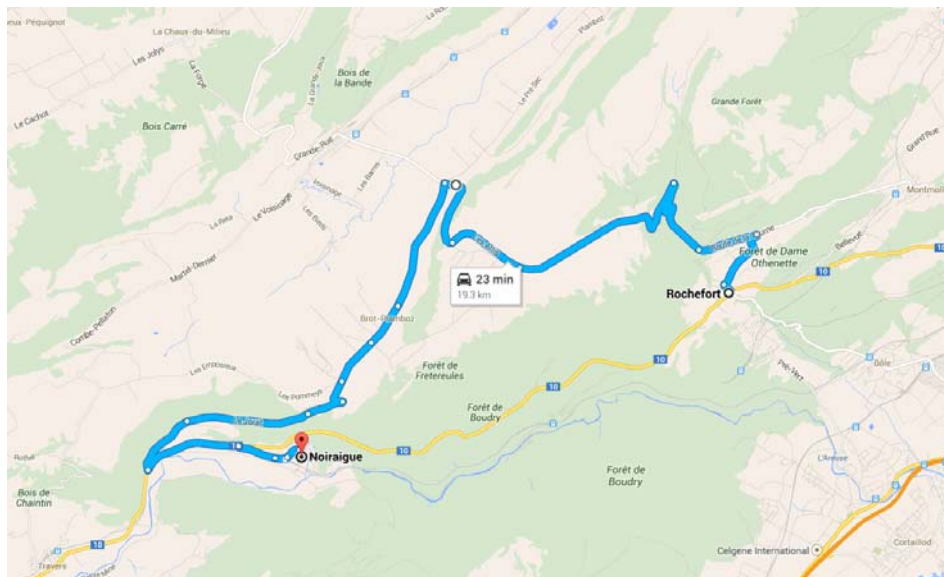
La gestion du trafic fait l'objet du rapport du bureau Boss du 02.02.15 (version B)



7.2.1 Fermeture du tunnel

Les périodes de fermeture du tunnel seront limitées au maximum. Ces fermetures sont possibles sur de courtes durées et de préférence durant les vacances d'été (volume du trafic plus faible et conditions météo plus clémentes).

Pour mémoire, la fermeture du tunnel implique une déviation par la Tourne augmentant pour les habitants du Val-de-Travers la longueur du trajet en direction de Neuchâtel d'environ 7km et sa durée d'environ 10min.



Itinéraire de déviation

En cas d'intervention nécessitant une fermeture ponctuelle, il sera privilégié une fermeture de nuit.

7.2.2 Gestion du trafic lors des travaux d'assainissement

Lors des travaux d'assainissement du tunnel la vitesse sur le tronçon sera réduite à 60km/h, cela afin d'augmenter la sécurité des usagers et des ouvriers et de réduire la largeur des voies de circulation (voir pièce n°13).

Le trafic circulera en bidirectionnel sur 2 voies de 3.00m. Les voies seront séparées par des balises mobiles. Cette configuration permet de disposer d'une zone de chantier avec une largeur maximale.

La séparation entre la zone de chantier et les voies de circulation doit permettre d'assurer la sécurité des ouvriers et des usagers. Selon le type de travaux, les projections doivent être empêchées. Ponctuellement des places d'arrêt pour les véhicules en panne seront prévues.

Il est prévu de disposer au droit des zones des travaux des Mini-Guard avec filets anti-projection. Les travaux seront réalisés en trois étapes de 400m sur la longueur du tunnel, des balises étant mises en place sur le solde de la longueur du tunnel permettant ainsi en cas de nécessité l'arrêt d'un véhicule dans la zone de chantier ou son contournement.

La première phase des travaux sera réalisée au sud du tunnel, ceci afin de disposer d'une largeur maximale sur la zone de chantier et de permettre la mise en conformité de la majorité des équipements de sécurité (accès à la galerie et remplacement de la DI).

7.2.3 Gestion du trafic lors des travaux d'entretien du tunnel

Lors des travaux d'entretien dans le tunnel, la vitesse sera réduite à 60km/h, cela afin d'augmenter la sécurité des usagers et des ouvriers.

La voie utilisée pour les travaux sera fermée et séparée des autres voies par un balisage continu. Celle-ci aura une largeur minimale de 3.00m.



Les deux autres voies de circulation auront une largeur minimale de 3.20m. Les voies seront séparées par des balises mobiles.

Les FAV n'étant pas mis en place, la déviation du trafic se fera à l'extérieur du tunnel.

Plan de feux	Type des travaux	Type de fermeture	Mesures	Synoptique *
1	Entretien de la voie droite, sens montant	Fermeture de la voie droite, sens montant	Délimitation de la zone des travaux avec des balises et réduction de la vitesse à 60 km/h au moyen d'une signalisation de chantier	
2	Entretien de la voie gauche, sens montant	Fermeture de la voie gauche, sens montant	Délimitation de la zone des travaux avec des balises et réduction de la vitesse à 60 km/h au moyen d'une signalisation de chantier	
3	Entretien de la voie descendante	Fermeture de la voie descendante	Délimitation de la zone des travaux avec des balises ainsi que balisage entre les 2 sens de circulation. Réduction de la vitesse à 60 km/h au moyen d'une signalisation de chantier	

* Les cotes des largeurs de voies contiennent les lignes de marquages, de 20 cm de larges.

Extrait rapport Boss Pt 9.1 (02.02.15)

7.2.4 Secours

Avant les travaux, une coordination étroite avec les feux-bleus sera nécessaire afin de garantir leur passage en cas d'intervention. Lors des travaux de démontage de la dalle intermédiaire, ce point devra être pris en compte pour permettre de garantir un passage pour les secours en cas de nécessité.



7.3 Etapes et délais

7.3.1 Programme des travaux

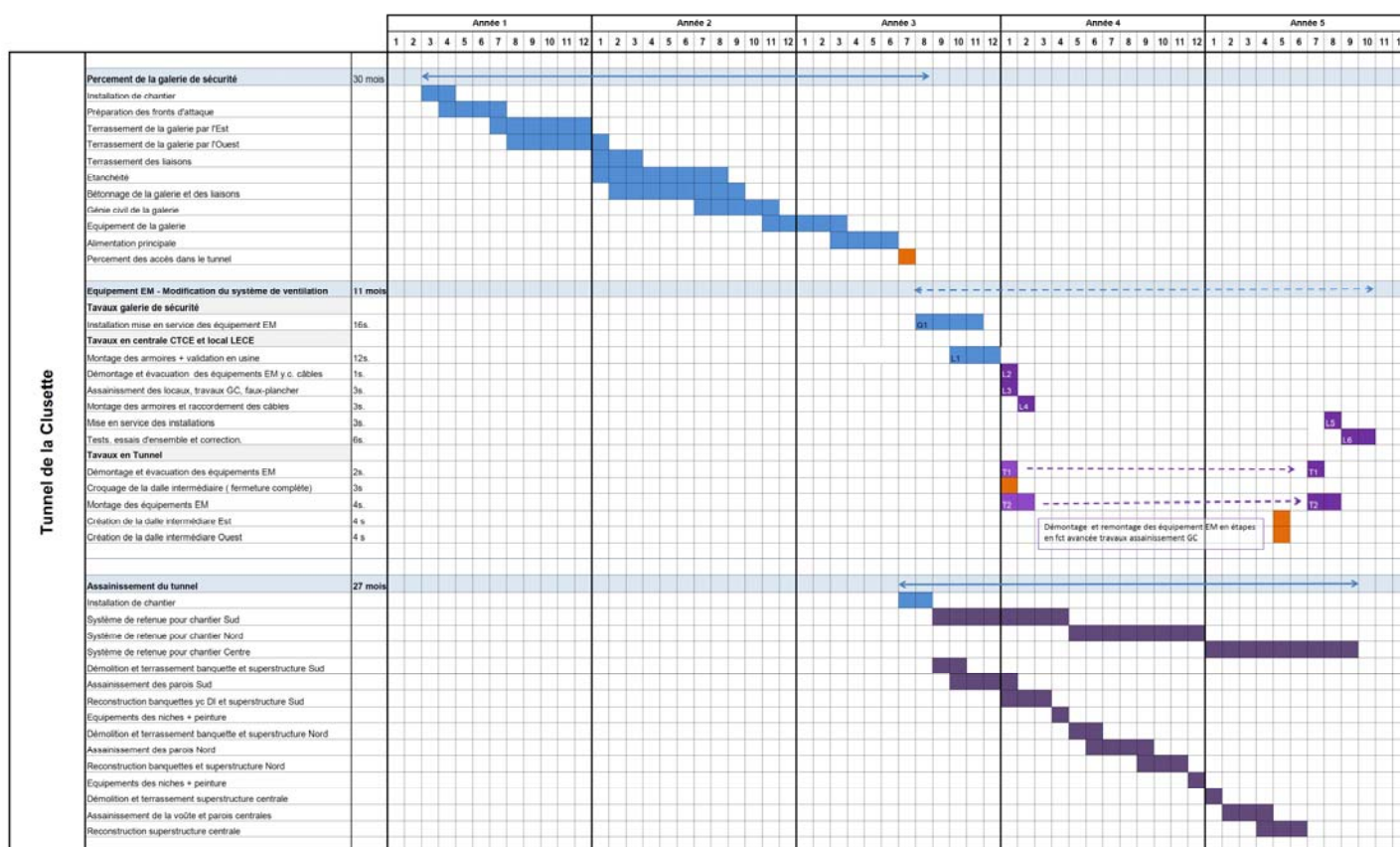
Le programme des travaux est présenté dans l'annexe E. Les étapes principales des travaux sont les suivantes :

1. Installation et création des portails Est et Ouest : 6 mois
2. Percement de la galerie : 4 à 5m par jour, soit pour 950m env. 210 jours, 11 mois
3. Percement des liaisons : env. 2 semaines/liaison, soit 2.5 mois
4. Bétonnage de la galerie : env. 3 étapes de 10m par semaine, soit 32 semaines, 8 mois
5. Equipement de la galerie de secours et chemin de câbles. Durée : 6 mois
6. Démolition de la dalle intermédiaire et équipements provisoires. Durée : 1 mois
7. Assainissement du tunnel par phases. Durée : 2 ans.

Sur la base de ce programme prévisionnel, la durée totale des travaux peut être estimée à 5 ans, dont 2 ans avec une entrave au trafic.

La durée des travaux est basée sur les informations données par l'entreprise INFRA pour la galerie de fuite. La durée des travaux d'assainissement du tunnel dépendra fortement de la variante d'assainissement retenue.

H10 - Programme indicatif des travaux d'assainissement et de sécurisation du tunnel de La Clusette





8. Devis général – Récapitulation des coûts

Le devis estimatif de l'ensemble des travaux d'assainissement du génie-civil figure dans la pièce n°3. Les variantes d'assainissement A3 et A7 sont devisées séparément et sont comparées à la variante maximale « second tube ».

Bases : Système de ventilation naturelle et galerie de sécurité avec 5 liaisons transversales

	Création d'une galerie de sécurité et assainissement du tunnel existant		Réalisation d'un second tube
Désignation	Variante A3	Variante A7	
Sécurisation (galerie de fuite)	11'467'000.00	11'467'000.00	1'500'000.00 (liaisons)
Démolition dalle intermédiaire (fermeture complète)	530'700.00	530'700.00	530'700.00
Assainissement tunnel	9'165'000.00	18'050'000.00	
Réalisation de deuxième tube			40'000'000.00
*EES (sans ventilation mécanique)	6'732'000	6'732'000	12'000'000.00
Total HT des travaux (arrondi)	27'895'000.00	36'780'000.00	52'531'000.00
Régie, divers et imprévus (10%)	2'790'000	3'678'000	5'254'000
Honoraires (10%)	2'789'500	3'678'000	5'254'000
Total HT II (arrondi)	33'474'500	44'136'000	63'039'000
TVA 8.0%	2'677'960	3'530'880	5'043'120
Total TTC (arrondi)	36'200'000	47'700'000	68'100'000

*Équipement EES nouveau tube compté 15% de 40 mio x 2 tubes

Notes importantes concernant les coûts

- Précision de $\pm 20\%$ sur le total HT uniquement.
- Les coûts EES proviennent du rapport EES du 13.07.15
- Le détail des devis relatifs à l'assainissement figure en annexe.
- Les coûts EES pour un nouveau tube sont compté à 15% de 40 mio x 2 tubes (assainissement tunnel existant + équipement nouveau tunnel)

Non compris dans le devis

- Les éventuelles acquisitions ou locations de terrain.
- Les prestations liées aux interventions du service d'entretien.



9. Opportunité - Risques

9.1 Travaux anticipés - Opportunités

La réalisation de travaux anticipés (dans l'intervalle de la réalisation d'une galerie de sécurité et de l'assainissement complet du tunnel) pourrait être analysée :

- Assainissement d'une banquette et pose d'une batterie de tubes EES
- Démontage de la dalle intermédiaire
- Ventilation naturelle
- Traitement des venues d'eau
- Mise à niveau équipement EM

9.2 Financement des travaux - Risques

Ce point n'est pas traité dans ce rapport et fait partie du volet politique du dossier

9.3 Mise à l'enquête - Risque

Pour les travaux de réalisation d'une galerie de sécurité parallèle au tunnel, une mise à l'enquête ne semble pas nécessaire selon le MO. Dans le cas contraire ce point pourrait avoir une incidence sur les délais.

9.4 Gestion des matériaux

Les importants travaux d'infrastructures qui sont en cours de planification sur le territoire cantonal sont principalement des ouvrages souterrains qui vont produire d'importants volumes de matériaux à recycler ou stocker. Les possibilités de mise en décharge doivent être recensées.

10. Suite des études et conclusions

La planification et l'organisation de la suite des études devront être menées par le MO. En priorité un planning tenant comptes des prochaines étapes d'études (y compris demandes de crédits) en fonction d'un horizon de réalisation souhaité devra être élaboré

11. Liste des annexes

- **Plan A4 : Schéma d'ouvrage**
- **Annexe A : Comptage des véhicules 2005 station de la Clusette**
- **Annexe B : Fiche technique ancrages Becorit**
- **Annexe C : Fiche Séparateur d'huile type B au km23.490**
- **Annexe D : Tableau de comparaison des variantes d'assainissement**
- **Annexe E : Programme des travaux**

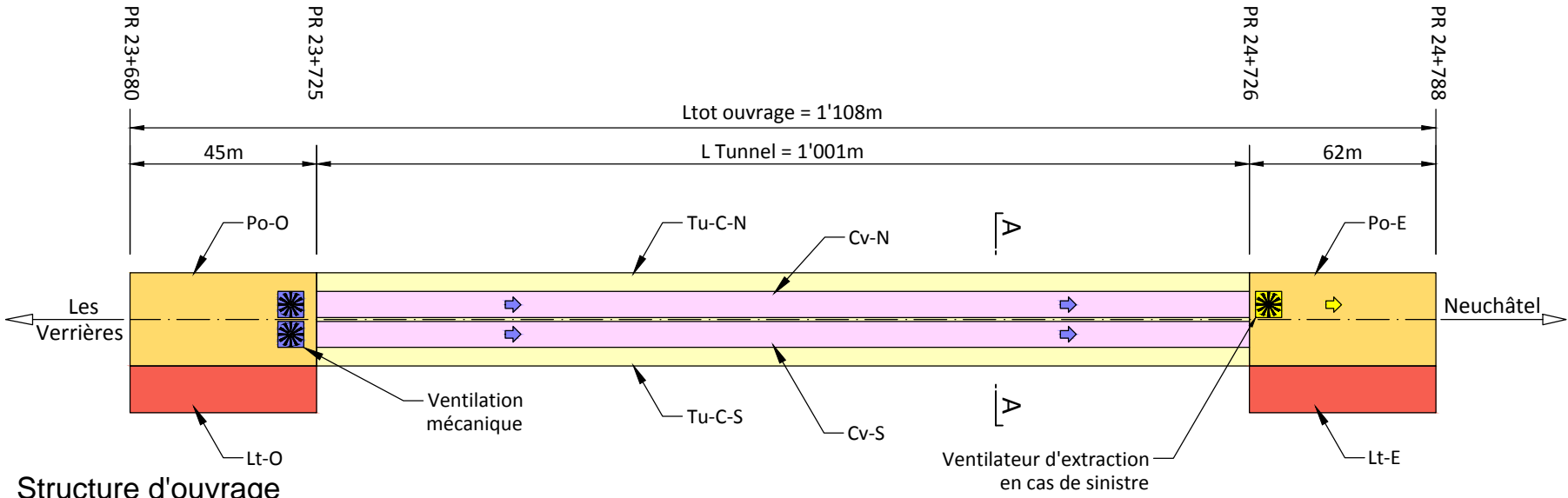


Sécurisation et assainissement du tunnel - Concept d'intervention

Plan A4

Schéma d'ouvrage

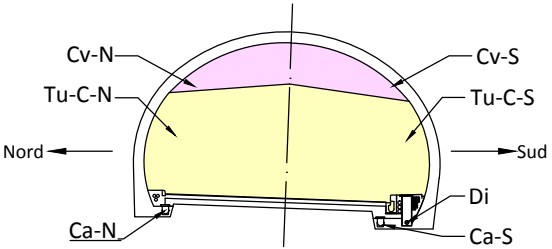
Nom de l'ouvrage		Axe	PR	Canton	Commune	Année de mise en service
Tunnel de la Clusette		H10	24+225	NE	Neuchâtel	1975
Vérification - Schéma d'ouvrage						
Dessiné	OPAN	PS	Date	05.09.2014	Format	A4
Echelle	--	Plan N°	00574.001_11			



Structure d'ouvrage

Abréviation	Désignation	Elément d'ouvrage	Situation
■	Tu-C-N	Tube de la Clusette (secteur Nord)	-N NORD
	Tu-C-S	Tube de la Clusette (secteur Sud)	-S SUD
■	Cv-N	Canal de ventilation - Nord	-E EST
	Cv-S	Canal de ventilation - Sud	-O OUEST
■	Di	Conduite d'eau	Défense incendie
	Ca-N	Canalisation évac. eaux - Nord	Evacuation des eaux
	Ca-S	Canalisation évac. eaux - Sud	Evacuation des eaux
■	Po-E	Portail et centrale de ventilation Est	Tranchée couverte
	Po-O	Portail et centrale de ventilation Ouest	Tranchée couverte
■	Lt-E	Locaux techniques Est	Bâtiments de service
	Lt-O	Locaux techniques Ouest	Bâtiments de service

Coupe A-A



Modifié	Dess.	Contr.
- 05.09.14	PS	PS
A		
B		
C		
D		

Réf.: G:\00574 H10 Tunnel de La Clusette\001 Vérifications et Concept d'intervention\02.XXX Plans\02.001 Plans OPAN\Ci\00574.001-11 Schéma d'ouvrage.dwg



Sécurisation et assainissement du tunnel - Concept d'intervention

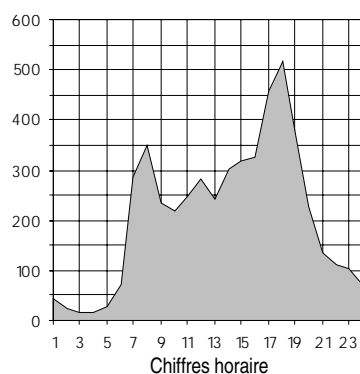
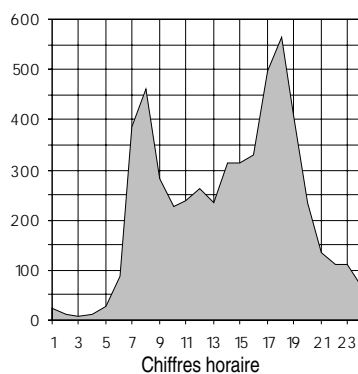
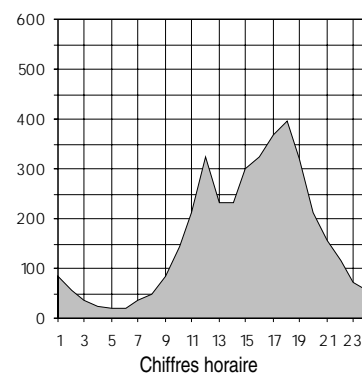
ANNEXE A

Comptage de véhicules 2005 station de la Clusette

Poste de comptage: **Noiraigue, Clusette****NE 994**Route: **10 Pontarlier (F) - Neuchâtel****2005**

Coordonnées: 545800 / 201080

Type de jours Période du jour Immatriculation	Moto- cycle	Voiture de tourisme	Cars, bus	Voitures de livraison	Camions	Trains routiers	Total	
TJM Trafic journalier moyen								
0-24 h	199	4'092	11	548	90	56	4'996	100%
5-22 h	186	3'842	11	512	88	56	4'695	94%
6-22 h	183	3'789	11	503	86	53	4'625	93%
7-21 h	167	3'464	11	463	79	46	4'230	85%
TJMO Trafic journalier moyen des jours ouvrables								
0-24 h	206	4'276	11	645	128	78	5'344	100%
5-22 h	194	4'064	11	608	126	78	5'081	95%
6-22 h	189	4'000	11	597	123	73	4'993	93%
7-21 h	168	3'593	11	546	115	65	4'498	84%
TJMD Trafic journalier moyen des dimanches et des jours fériés								
0 - 24 h	189	3'401	11	281	6	0	3'888	100%
7 - 21 h	160	2'934	11	246	6	0	3'357	86%

Courbes de variation journalière**TJM****TJMO****TJMD**

Zählstelle / Poste de comptage: NE 994 Noiraigue, Clusette

Strasse / Route : 10

Teilnetz / Réseau partiel : 2

Manuelle Zählung / Recensement manuel

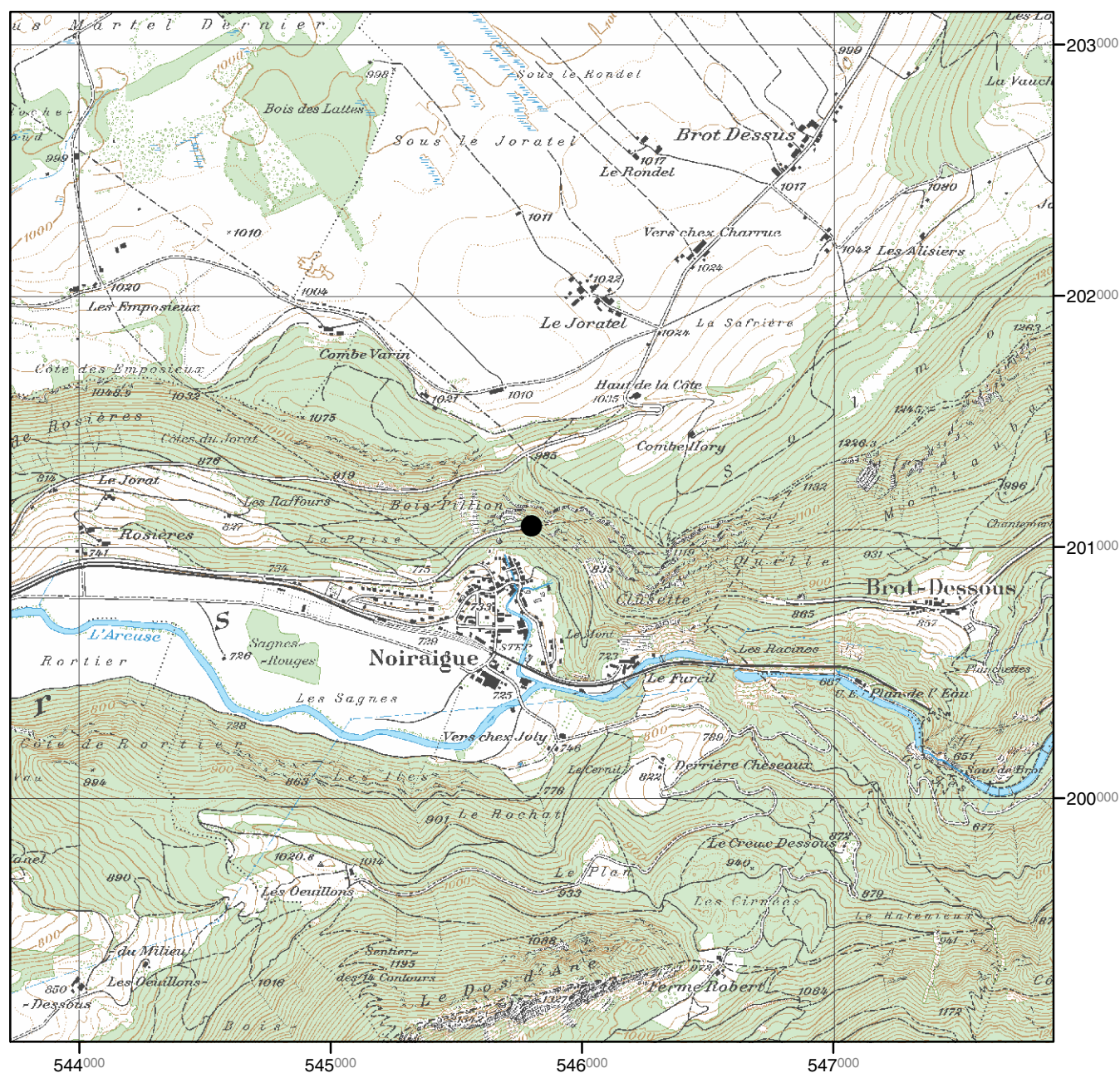
Automat / Automate

Nr. / No : 190

Typ / Type : Klassifiziergerät / Compteur avec classification

Koordinaten / Coordonnées : 545'800 / 201'080

Massstab / Echelle 1 : 25'000





Sécurisation et assainissement du tunnel - Concept d'intervention

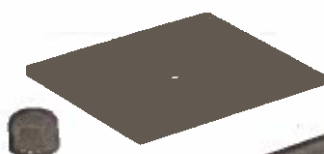
ANNEXE B

Fiche technique ancrages Becorit

8.7 Boulons scellés

Le boulon scellé est constitué d'un écrou de blocage, d'une plaque d'appui, d'une barre d'ancrage et d'une cartouche de scellement. Les boulons scellés peuvent être utilisés comme tirants précontraints, tendus ou passifs. Ils peuvent être fournis pour servir de tirants temporaires, permanents, inclinés vers le haut ou vers le bas. Ces tirants répondent quant à leurs propriétés aux exigences de la norme relatives aux tirants dont la force $V_F \leq 200 \text{ kN}$ (20 t). L'établissement et l'interprétation du procès-verbal de mise en tension s'effectue généralement sous une forme simplifiée.

Plaque d'appui
Écrou de blocage



Cartouche de scellement



Barre d'ancrage



Trou de forage

Les trous de forage peuvent être exécutés par l'entrepreneur lui-même. Ces trous devraient être aussi secs que possible en particulier dans la zone de scellement; la roche devrait être non décomposée.

Barres d'ancrage

La fourniture des barres est exécutée en fonction des exigences du client (par exemple, barres profilées, protégées contre la corrosion, résistantes à la corrosion, etc.). Les diamètres généralement utilisés vont de 16 à 26 mm. Les résistances à la traction varient entre 600 et 930 N/mm². Les barres sont normalement livrées en longueurs de 1.00 à 6.00 m.

Cartouche de scellement

Les composants du mortier de résine synthétique sont contenus dans des compartiments séparés d'une cartouche de verre. Après avoir exécuté le forage, on introduit la cartouche de scellement jusqu'au fond du trou. Puis, par rotation et percussion, on enfonce la barre dans la cartouche, ce qui permet le mélange des composants du mortier de résine synthétique. La durée de prise dépend de la température.

Pose du boulon et mise en tension

La pose du boulon s'effectue par rotation et percussion de la barre au moyen d'une perforatrice. La cartouche de scellement préalablement introduite dans le trou est ainsi disloquée, ce qui permet le mélange de ses composants. Un malaxage intensif jusqu'au fond du trou est indispensable pour assurer un durcissement complet du mortier. Après la prise dont la durée dépend de la température à l'intérieur du trou de forage, la mise en tension peut être effectuée suivant la force nécessaire au moyen de clés dynamométriques ou de vérins hydrauliques. Ces appareils peuvent être obtenus par notre intermédiaire.

Documents

Les documents suivants sont mis à disposition pour la fourniture et l'exécution des boulons scellés.

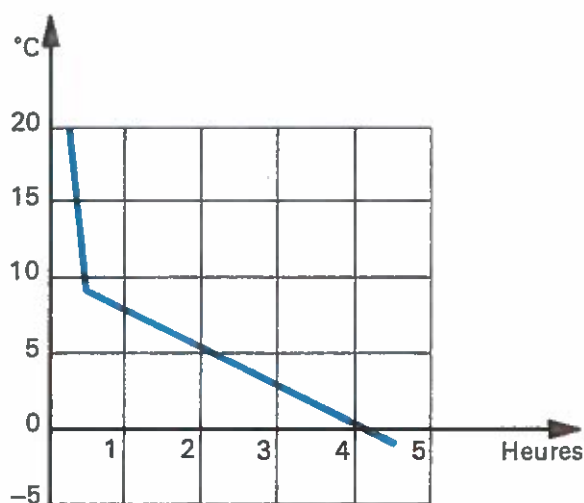
- Données sur le comportement à court et à long terme du mortier de résine synthétique
- Spécifications de l'acier et dimensions des barres d'ancrage, des plaques d'appui et des écrous de blocage
- Diamètre des trous de forage et longueur de scellement en fonction de la longueur des barres et de la qualité de l'acier
- Descriptif de la protection contre la corrosion
- Directives pour la pose des tirants
- Appareils

8.7 Boulons scellés

Mortier de résine synthétique

Les cartouches de scellement que nous utilisons pour ancrer les barres consistent en un tube de verre contenant une résine polyester et, séparés de celle-ci, le durcisseur et un granulats quartzique dont les grains mesurent 4 à 5 mm. Le tube a une longueur de 300 mm.

Le durcissement du mortier de scellement évolue selon le schéma ci-dessous.



Action du mortier de résine synthétique

Après dislocation de la cartouche de verre et mélange de la résine et du durcisseur, le mortier de résine synthétique remplit complètement les vides entre la barre d'ancrage et la paroi du trou de forage dans la zone de scellement. Lors de l'introduction de la barre d'ancrage par vissage au moyen d'une perforatrice, les grains de quartz nettoient la paroi du trou de forage tout en l'égratignant. Lors de la mise en tension de l'ancrage, la force transmise au mortier de résine synthétique durci est uniformément répartie sur la paroi du trou de forage. Contrairement aux ancrages à expansion il n'apparaît aucune force d'éclatement.

Adhérence du mortier de résine synthétique

Les valeurs d'adhérence données ci-dessous sont basées sur des essais effectués d'une part avec des barres lisses, d'autre part avec des barres nervurées ancrées dans du béton et sont également valables pour des conditions analogues en rocher. Lors de l'utilisation de boulons scellés en roche tendre, il est recommandé d'augmenter de manière correspondante les longueurs de scellement voire, dans le cas d'ouvrages très importants, de déterminer cette longueur au préalable par des essais d'arrachement.

Adhérence à court terme

Des essais effectués sur une série de 241 tirants scellés au moyen d'un mortier de résine synthétique donnèrent une adhérence moyenne de $9,8 \text{ N/mm}^2$ et une valeur de $6,7 \text{ N/mm}^2$ dans le cas des 5% fractiles.

Adhérence à long terme

Dans le cas de boulons scellés soumis durant 10 ans aux agents atmosphériques et aux attaques chimiques, on a déterminé une adhérence moyenne de $9,0 \text{ N/mm}^2$. Cette valeur se montait à 6 N/mm^2 dans le cas des 5% fractiles.

En raison de ces valeurs prouvées d'adhérence, nous avons pris comme base de dimensionnement de la longueur de scellement une contrainte d'adhérence maximale de 5 N/mm^2 , valeur rapportée à la charge de rupture de la barre d'ancrage correspondante. Cela correspond à une diminution de 25% par rapport aux 5% fractiles de l'adhérence à court terme et de 17% par rapport aux 5% fractiles de l'adhérence à long terme.

Résistance à la température

Les cartouches de scellement que nous utilisons peuvent être employées selon les directives allemandes jusqu'à des températures de 80°C . A plus haute température l'adhérence diminue rapidement. Pour obtenir une résistance au feu déterminée, il est nécessaire de prendre des mesures particulières de cas en cas.

Effort dynamique

Lors d'essais cycliques dynamiques, des boulons scellés à mortier de résine synthétique soumis à une contrainte de cisaillement de 5 N/mm^2 ont résisté sans dommage jusqu'à $2 \cdot 10^6$ alternances de charge.

Boulons scellés Becorit

Barre d'ancrage

Matériau: Acier spécial pour ancrage RM 90
 Résistance à la traction: 700 N/mm²
 Limite élastique: 400 N/mm²
 Longueur des barres: normale jusqu'à 6.00 m
 Filetages: M20, 24, 27 diamètres de barres plus grands ou plus petits sur demande.

Plaque d'appui

La plaque d'appui est en acier 37. Les dimensions sont basées sur une résistance à la compression de l'assise de 20 N/mm².

Ecrou de blocage

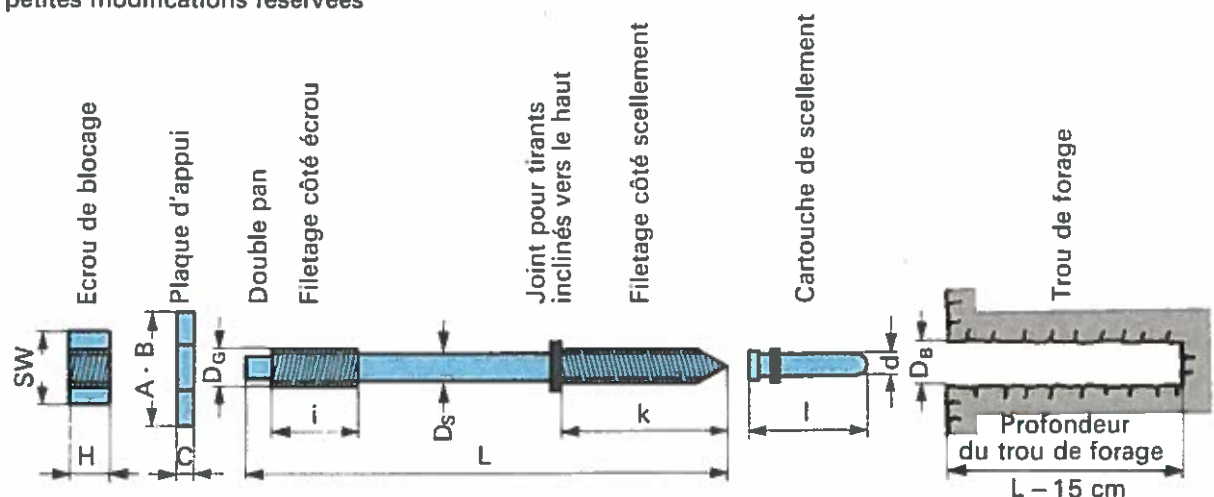
Ecrou hexagonal en acier, classe de qualité 8 (résistance à la traction 800 N/mm²)

Cartouche de scellement

Matériau: Résine polyester avec durcisseur et granulat quartzique. d=28 mm
 Durée de prise: env. 20 min. à 20°C
 Adhérence à long terme: env. 5 N/mm² entre le mortier et la paroi du trou de forage, rapportés à la force de rupture de la barre d'ancrage.

Filetage	D _G		M20	M24	M27							
Diamètre de la barre	D _S	mm	18	22	25							
Poids de la barre	G	kg/m	2.0	3.0	3.8							
Force d'épreuve max.	V _P =0.95 · σ _{2.0} · F _e	kN	93.1	134.1	174.4							
Force de rupture	V _Z =β _Z · F _e	kN	171.5	247.1	321.3							
Résistance à la traction	β _Z	N/mm ²	700	700	700							
Limite élastique	σ _{2.0}	N/mm ²	400	400	400							
Section utile	F _e	mm ²	245	353	459							
Module d'élasticité	E	fonction de la longueur des tirants dans le cas de barres usinées*										
Diamètre du trou de forage	D _B	mm	30–35	31–36	33–40							
Longueur de cartouche théor. nécessaire	l	mm	300–400	350–500	400–650							
Longueur de scellement	k	mm	320–390	440–530	500–610							
Plaque d'appui	A · B · C	mm	120 · 120 · 10	120 · 120 · 12	150 · 150 · 12							
Ecrou de blocage	D/H	mm	30/16	36/19	41/22							
Longueur du filetage	i	mm	200	200	200							
Longueurs des barres en stock	L	m	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0	6.0
* Module d'élasticité	E	kN/mm ²	172		181		191					

petites modifications réservées



Boulons scellés Becorit

Diamètre des trous de forage et longueur de scellement

Le tableau ci-dessous donne le diamètre de la couronne des tiges de forage Monobloc et les longueurs de scellement correspondantes dans le cas d'une utilisation des cartouches de scellement $d=28$ mm. Pour les tirants de longueur $L=1.00$ m et 2.50 m, on peut utiliser la plus petite barre de forage qui suit pour autant que l'on puisse admettre une surlongueur du tirant supérieure aux 15 cm usuels.

La longueur de scellement est dimensionnée de telle façon que la contrainte d'adhérence entre le mortier de résine synthétique et la paroi du trou du forage rapportée à la force de rupture de la barre d'ancrage n'excède pas 5 N/mm^2 .

Longueur des barres L m		1.00/1.50	2.00	2.50/3.00	3.50/4.00	4.50	5.00	6.00	Longueur nominale
Tige de forage Monobloc mm		800	1600	2400	3200	4000	4800	5600	
Couronne – $\varnothing D_{kr}$	M20	34	33	32	31	30	35	34	33
	M24	34	33	32	31	36	35	34	33
	M27	40	39	38	37	36	35	34	33
Longueur de cartouche théor.	M20	350	350	350	300	300	400	350	350
	M24	320	340	380	350	390	330	320	340
Longueur de scellement k	M20	450	400	400	350	500	450	450	400
	M24	490	480	530	520	450	440	490	480
Longueur de scellement k	M27	650	650	600	550	550	500	450	400
	M27	500	530	530	540	590	600	600	610

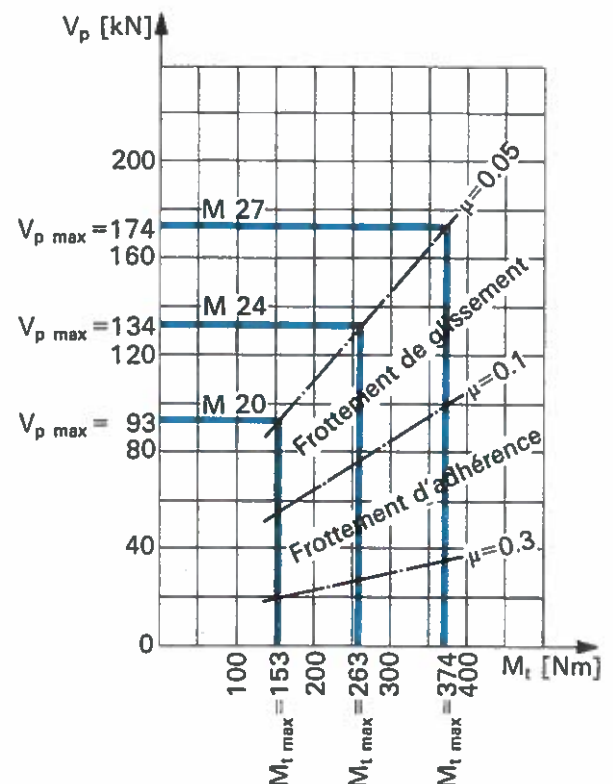
Longueur des barres L m		1.00/1.50	2.00	2.50/3.00	3.50/4.00	4.50	5.00	6.00
petites modifications réservées								

Mise en tension au moyen de clés dynamométriques

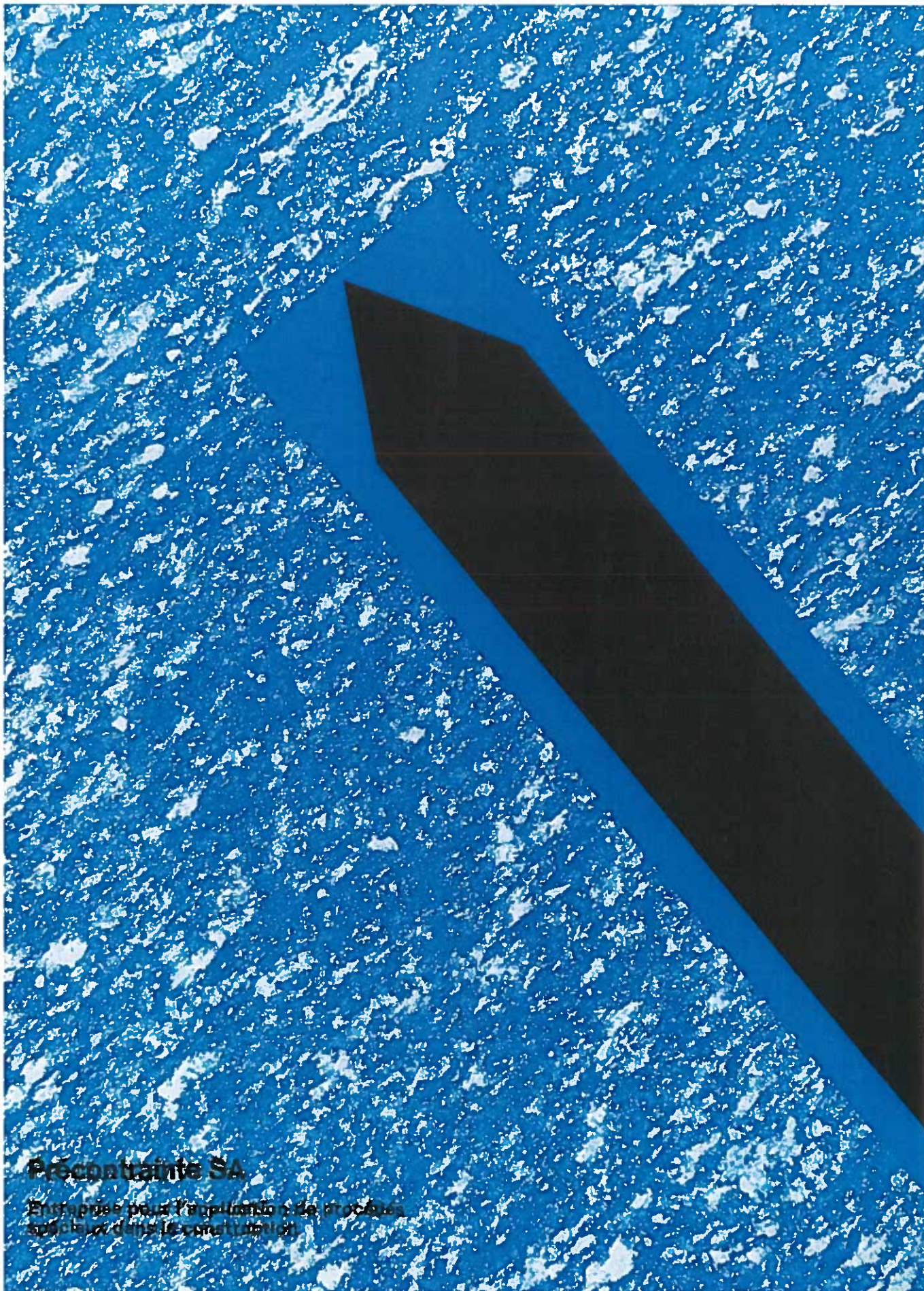
L'utilisation de clés dynamométriques pour la mise en tension des boulons scellés peut être recommandée pour la mise en tension provisoire de tirants immédiatement après la prise du mortier et pour la précontrainte de tirants dans les cas où la force d'utilisation ne doit pas être obtenue avec précision.

Le couple de rotation max. admissible est donné par la force d'épreuve max. admissible $V_{p \max} \leq 0.95 \cdot \sigma_{2.0} \cdot F_e$ dans le cas d'un coefficient de frottement de glissement favorable $\mu=0.05$. Comme le montre le tableau ci-contre, la force de précontrainte effectivement introduite au moyen de clés dynamométriques peut dans des conditions de frottement de glissement et d'adhérence défavorables et suivant les circonstances n'atteindre qu'un quart de la valeur prévue.

Dans les cas où les charges d'épreuve et d'utilisation sont bien définies, on contrôlera et mettra en tension les ancrages au moyen de nos vérins hydrauliques très maniables.



Ancrages Becorit



Précontrainte SA

Entreprise pour l'application de procédés
spéciaux dans la construction

Les ancrages par adhérence

Courte longueur de scellement grâce aux hautes qualités d'adhérence et de résistance du matériau utilisé

Petits diamètres des forages exécutables à l'aide d'un outillage simple et léger

Très court temps de prise permettant une mise en tension rapide

Manipulation simple, tous les composants du matériau de scellement étant renfermés dans une seule cartouche

Très bon malaxage du matériau de scellement grâce à la forme spéciale de la barre

Plus de dix années d'applications dans de nombreux domaines



Ce procédé consiste à sceller dans un trou foré de petit diamètre une barre d'acier spécial. Le scellement est réalisé à l'aide d'une résine synthétique renfermée dans une cartouche de verre disloquée dans le forage par l'enfoncement de la barre d'acier. La résine est ensuite malaxée et comprimée toujours par l'intermédiaire de la barre.

Après polymérisation, la mise en tension peut être effectuée.

Les premiers ancrages par adhérence ont été utilisés en septembre 1959 pour les mines «Amalie» de la «Fried. Krupp Bergwerk AG» à Essen.

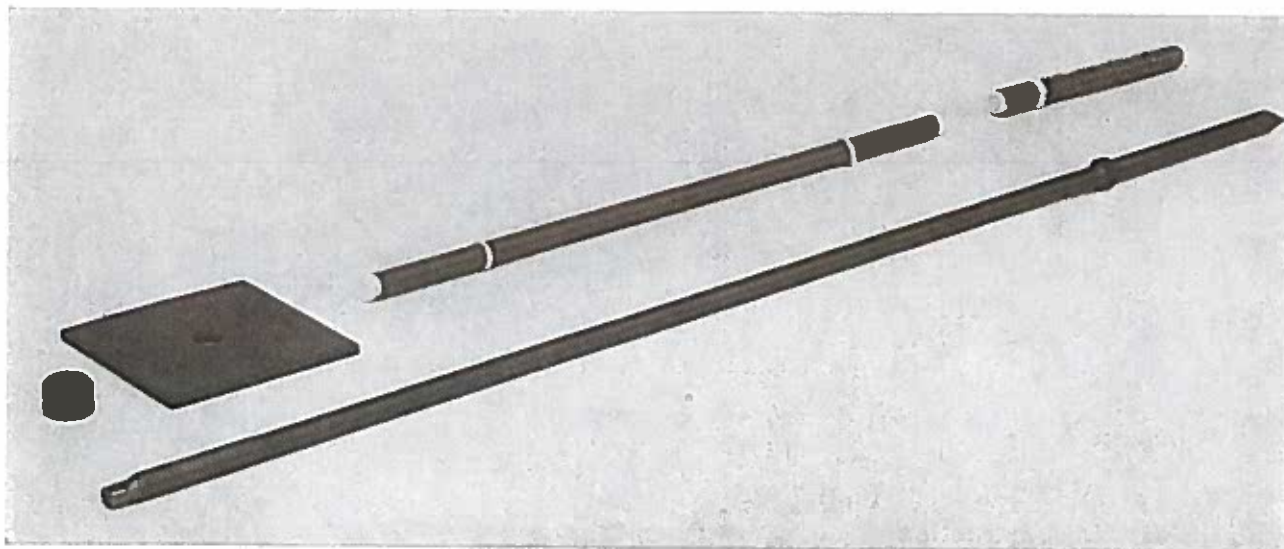
A propos du développement de petites ou moyennes capacités des types d'ancrages en rocher, les remarques suivantes peuvent être formulées:

Les ancrages à expansion mis en œuvre dans les rochers tendres ne pouvant atteindre que de très faibles charges, de nombreuses recherches ont été dirigées vers l'application de scellement au lait de ciment. Toutefois ce procédé ne permet pas une mise en tension rapide du fait de la durée de prise de lait de ciment. C'est ainsi que les recherches se sont dirigées dans le domaine des mortiers de scellement à base de résines synthétiques à prise rapide.

Le coût très élevé des résines a cependant conduit à essayer de réduire au maximum la longueur de scellement dont une des conditions principales de bonne tenue était d'obtenir l'adhérence optimale du mortier contre la paroi du trou de forage.

Les 4 points suivants sont déterminants pour l'efficacité des ancrages par adhérence en rocher:

- exécution et qualité des barres d'ancrage
- exécution des cartouches de matière adhésive synthétique
- longueur des scellements
- tenue de la plaque d'ancrage



Caractéristiques des ancrages Becorit par adhérence

Barres d'ancrage

Matériau:	acier spécial pour ancrage RM 90
Limite élastique:	40 kg/mm ²
Résistance à la rupture:	70 kg/mm ²
Longueurs des ancrages:	normales jusqu'à 6 m
Filetages:	M20, 24, 27 (30, 36, 42, 48, 56 sur demande)

Résine synthétique

Cartouches:	d/l = 28/100, 28/200, 32/400, 40/600
-------------	--------------------------------------

La cartouche consiste en un tube de verre rempli d'un accélérateur, d'agréats et de résine. La durée de prise de la résine dépend essentiellement de la température A 20° C, par exemple, la mise en tension peut être effectuée après 20 min.

Résistance à la compression de mortier:	900–1200 kg/cm ²
Résistance à la chaleur	jusqu'à 100 °C
Adhérence (rapportée à la surface de forage):	200–250 kg/cm ²

Forages

Les trous forés doivent être si possible secs. Ceux-ci sont toujours d'un diamètre supérieur de 8 à 10 mm à celui de la barre d'ancrage (par exemple, pour une barre M24 diamètre du forage 33 mm). Une profondeur de forage minimale est nécessaire pour chaque type de barre. La longueur des trous forés est toujours inférieure de 10 cm à celle des barres.



Exécution

Après introduction de la cartouche de résine jusqu'au fond du forage, la barre d'ancrage est introduite par vissage au moyen de la perforatrice. La cartouche est alors disloquée et ses composants sont malaxés et comprimés par l'enfoncement de la barre.

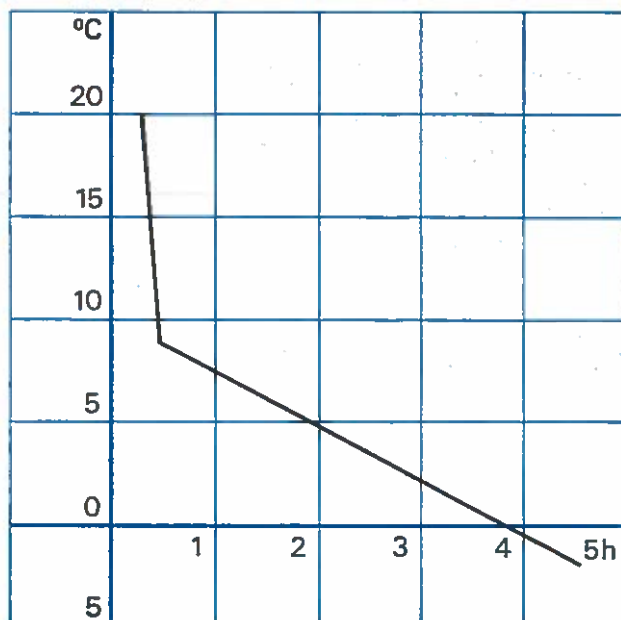
Il importe que le malaxage soit très intense afin d'assurer une prise complète du mélange.

Après la prise dont la durée dépend de la température du rocher, la mise en tension peut être effectuée à l'aide de vérins hydrauliques ou, plus rarement, de clés dynamométriques.

Variantes d'exécution

- Exécution normale comme décrite.
- Protection spéciale contre la corrosion de l'acier de la longueur libre de la barre.
- Remplissage de la longueur libre avec de la résine synthétique à prise différée de quelques heures, permettant une mise en tension après prise de la résine de scellement.
- Injection de protection à base d'un coulis de ciment. Ici l'effort dans les ancrages peut être contrôlé avec l'injection.

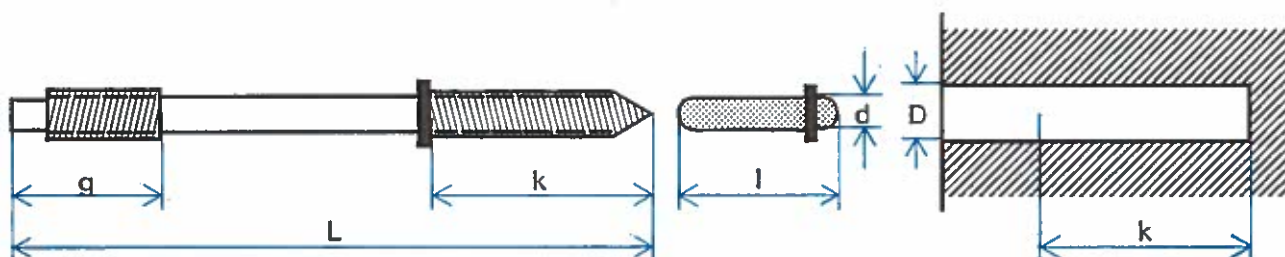
Durée de prise de mortier synthétique



Applications

Galeries et tunnels
Assainissements de fondation en béton
Murs ancrés
Ancrages de poutres et de piliers
Ancrages de machines
Liaisons d'éléments préfabriqués
Barres en attente
Renforcements de fondations existantes

Type		M20	M24	M27
Section	mm ²	245	353	459
Limite élastique $\sigma_{0,2}$	t	9,80	14,12	18,36
Charge de rupture	t	17,15	24,71	32,13
Charge de service (0,85 $\sigma_{0,2}$)	t	8,30	12,00	15,60
Longueur de scellement k	mm	min. 300	min. 300	min. 300
Cartouche d/l	mm	28/300	28/300	28/300
Forage $\varnothing D$	mm	30-32	32-34	36-38



Longueur des ancrages:

L en stock
1,00/1,50/2,00/2,50/3,00/4,00/5,00/6,00

g correspond à l'allongement de la barre
(livré avec écrou et plaque d'appui)

Précontrainte SA

Avenue des Alpes 1, 1006 Lausanne
Téléphone 021 20 39 68

Béton Precompresso SA

Piazza Collegiata 5, 6500 Bellinzona
Telefono 092 25 71 17

Spannbeton AG

Bernstrasse, 3327 Lyssach
Telefon 034 45 15 71
Telex 32 902

Dornacherstrasse 38, 4053 Basel
Telefon 061 35 59 56

Zürcherstrasse 240, 9015 St. Gallen
Telefon 071 27 49 15



Sécurisation et assainissement du tunnel - Concept d'intervention

ANNEXE C

Séparateur d'huile type B au km23.490



SPC
ORC
BOAE

Service des ponts et chaussées
Office des routes cantonales
Bureau des ouvrages d'art
et de l'économie des eaux

MAINTENANCE DES OUVRAGES D'ART - SURVEILLANCE

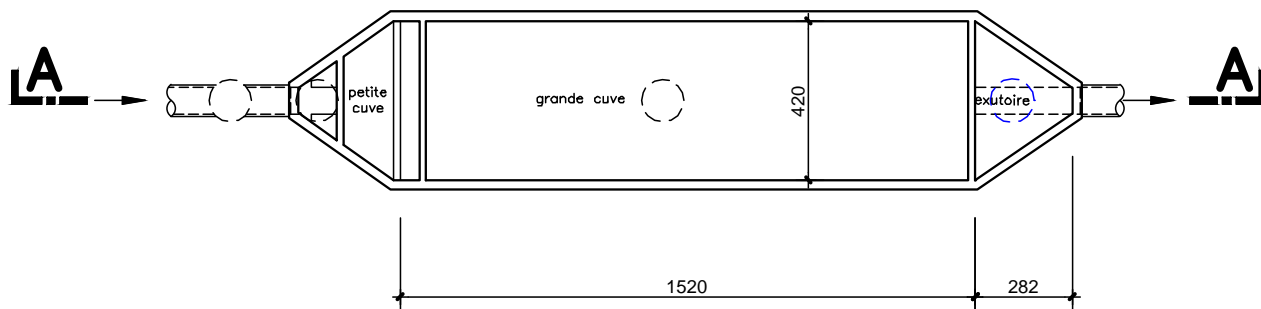
Ouvrage : Séparateur d'huile
Route principale N° : H10 PR : 23+490
Code KUBA : -

DOSSIER RESULTATS D'INVESTIGATION

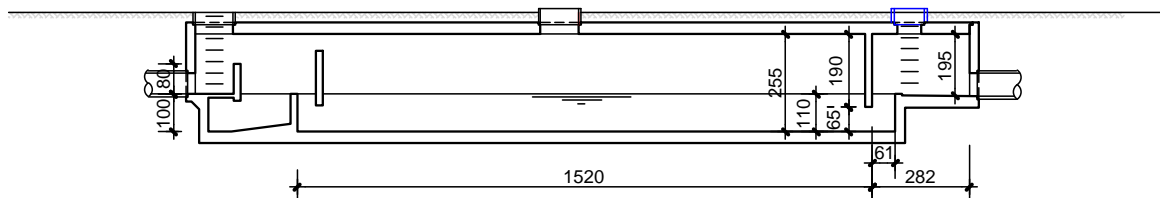
2. Plans

2.2 Plan général

Vue en plan - 1:200



Coupe A-A - 1:200



Légende :



Route principale H10

Tronçon Neuchâtel - Les Verrières

Tunnel de la Clusette (PR23+680 - PR24+788)

Séparateur d'huile type B

Plans de référence

NUMERO DE PLANS DATE

DATE DESS. CONTR.
01.12.11 NG PS

Etabli par:

Groupe ment DOC

DE CERENVILLE
GEOTECHNIQUE SA
1024 Ecublens / VD

OPAN CONCEPT SA
2002 Neuchâtel

ECHELLE: -

FORMAT: A3



Sécurisation et assainissement du tunnel - Concept d'intervention

ANNEXE D

Tableau de comparaison des variantes d'assainissement

Concept d'intervention - Etude de variantes																			
Description / critères guillotines		Variante 0		Variante maximale		Variante 1		Variante 2		Variante 3		Variante 4		Variante 5		Variante 6		Variante 7	
		Etat existant - Pas d'assainissement, mais sécurisation et démolition dalle intermédiaire		Nouveau tube		Nouvel anneau (démolition complète) + reprofilage + banquettes et superstructure + soutènement complet		Nouvel anneau + étanchéité + banquettes et superstructure		Création de saignées drainantes + forages drainants + banquettes et superstructure		Démolition anneau existant + nouvel anneau avec étanchéité + soutènement complet + banquettes et superstructure		V3 + béton projeté étanche de 4cm		V3 + plaques Aluminium		Nouvelle anneau intérieur + étanchéité + démolition et soutènement partiel + abaissement de la chaussée + banquettes et superstructure	
Description / critères guillotines																			
Coûts GC / m'		Entretien env. 30'000.-/an + env. 15'500.-/m'		env. 55'000.- /m'		env. 50'000.- /m'		env. 38'000.-/m'		env. 32'400.-/m'		env. 48'500.-/m'		env. 40'500.-/m'		env. 35'500.-/m'		env. 43'500.-/m'	
Critères																			
Constructifs et environnementaux	Faisabilité technique	faible	Moyen	Très élevé + impossible techniquement	Aucun travaux prévu mis à part la création des liaisons pour la galerie de fuite et la démolition de la dalle intermédiaire	Difficultés liées au percement d'un nouveau tunnel maîtrisées	Difficultés liées à la démolition du revêtement intérieur avec problématique du soutènement provisoire complet	Pas de difficulté particulière	Difficultés liées aux captages précis des venues d'eau	Difficultés majeures pour conserver une partie du revêtement du tunnel existant. Soutènement provisoire complet nécessaire.	Pas d'expérience concernant la mise en place de béton projeté étanche avec sous-pression + lissage du béton projeté	Mise en place de plaques alu en courbe. Problème de formation de glace sur les plaques	Difficultés liées à la démolition partielle des pieds-droits et du soutènement provisoire						
	Niveau de difficulté pour la réalisation de la variante																		
	Compatibilité avec l'environnement	Bonne	mesures à prendre	Impact trop important	Impact minimum pour la galerie de fuite et la démolition de la dalle intermédiaire	Très fort impact. Consommation de ressources importante.	Fort impact. Consommation de ressources importante.	Impact moyen. Consommation de ressource moyenne	Impact limité. Consommation de ressource faible.	Fort impact. Consommation de ressources importante.	Impact moyen. Consommation de ressource moyenne	Impact moyen. Consommation de ressource moyenne	Impact moyen. Consommation de ressource moyenne						
	Compatibilité de la variante avec l'environnement																		
	Exploitation pendant les travaux	En tout temps	partiellement	Impossible	Faible entrave (démolition dalle intermédiaire)	Faible entrave	Grandes difficultés pour maintenir deux voies (beaucoup de poussières et de projection)	Entrave importante et de longue durée avec maintien quasi permanent des deux voies de circulation	Entrave importante et de longue durée avec maintien quasi permanent des deux voies de circulation	Grandes difficultés pour maintenir deux voies (beaucoup de poussières et de projection)	Entrave importante et de longue durée avec maintien quasi permanent des deux voies de circulation	Entrave importante et de longue durée avec maintien quasi permanent des deux voies de circulation	Entrave importante et de longue durée avec maintien quasi permanent des deux voies de circulation	Entrave importante et de longue durée avec maintien quasi permanent des deux voies de circulation					
	Maintien du trafic pendant les travaux																		
Géologie / géotechnique	Faibles	Moyens	Importants	Aucune pour le tunnel (galerie oui)	Grande interaction avec la géologie existante. Nouveau percement.	Grande interaction avec la géologie existante. /!\ Ancien soutènement	Aucune interaction	Faible interaction liée aux forages drainants	Grande interaction avec la géologie existante. /!\ Ancien soutènement	Faible interaction liée aux forages drainants	Faible interaction liée aux forages drainants	Faible interaction liée aux forages drainants	Interaction moyenne due à la démolition partielle des pieds-droits et des ancrages						
Coordination GC/EM	Faibles	Moyens	Faibles	Remplacement possible des installations, notamment ventilation	Installations neuves dans nouveau tube et à renouveler dans ancien tube.	Installations renouvelées.	Installations renouvelées.	Installations renouvelées.	Installations renouvelées.	Installations renouvelées.	Installations renouvelées.	Installations renouvelées.	Installations renouvelées.						
Sécurité	Adéquation aux normes, réglementations et exigences relatives à la sécurité	Total	Partiel (amélioration sensible, mais pas totale)	Non atteint	Forts risques liés à la présence de glace sur la chaussée. Amélioration partielle par la création de la galerie et de la modification de la ventilation	Respects des directives et des normes relatives à la sécurité	Respects des directives et des normes relatives à la sécurité	Respects des directives et des normes relatives à la sécurité	Respects des directives et des normes relatives à la sécurité	Respects des directives et des normes relatives à la sécurité	Respects des directives et des normes relatives à la sécurité	Respects des directives et des normes relatives à la sécurité	Respects des directives et des normes relatives à la sécurité						
	Respect des directives et des normes																		
Exploitation	Entretien	Bon	Satisfaisant	Insuffisant	Entretien fréquent et difficile	Amélioration	Amélioration	Amélioration	Amélioration + implique un entretien pour le curage des drainages	Amélioration	Amélioration + implique un entretien pour le curage des drainages	Amélioration, mais difficultés pour l'entretien sous plaques + implique l'entretien pour le curage des drainages	Amélioration						
	Amélioration ou diminution de l'entretien, gestion de l'entretien facilité																		
	Exploitation				Amélioration	Statu-quo	Diminution	Pas d'amélioration	Amélioration	Diminution du gabarit	Pas d'amélioration	Pas d'amélioration	Faible diminution du gabarit	Faible diminution du gabarit	Amélioration				
Durabilité	Forte augmentation	Faible augmentation	Pas d'augmentation	Pas d'augmentation	Tunnel neuf	Forte augmentation	Faible augmentation	Pas d'augmentation	Forte augmentation	Pas d'augmentation	Pas d'augmentation	Faible augmentation							
Coûts et délais	Durée des travaux	Faible	moyenne	élevée	1 an	5ans	4ans	2ans	2ans	4ans	3ans	2ans	3ans						
	Durée de la réalisation des travaux d'assainissement																		
	Coût				Faible	moyen	élevé												
Trafic	Trafic	Bon	Satisfaisant	Insuffisant		Surdimensionnement													
Notation évaluation		64		54		54		56		48		74		82		72		46	

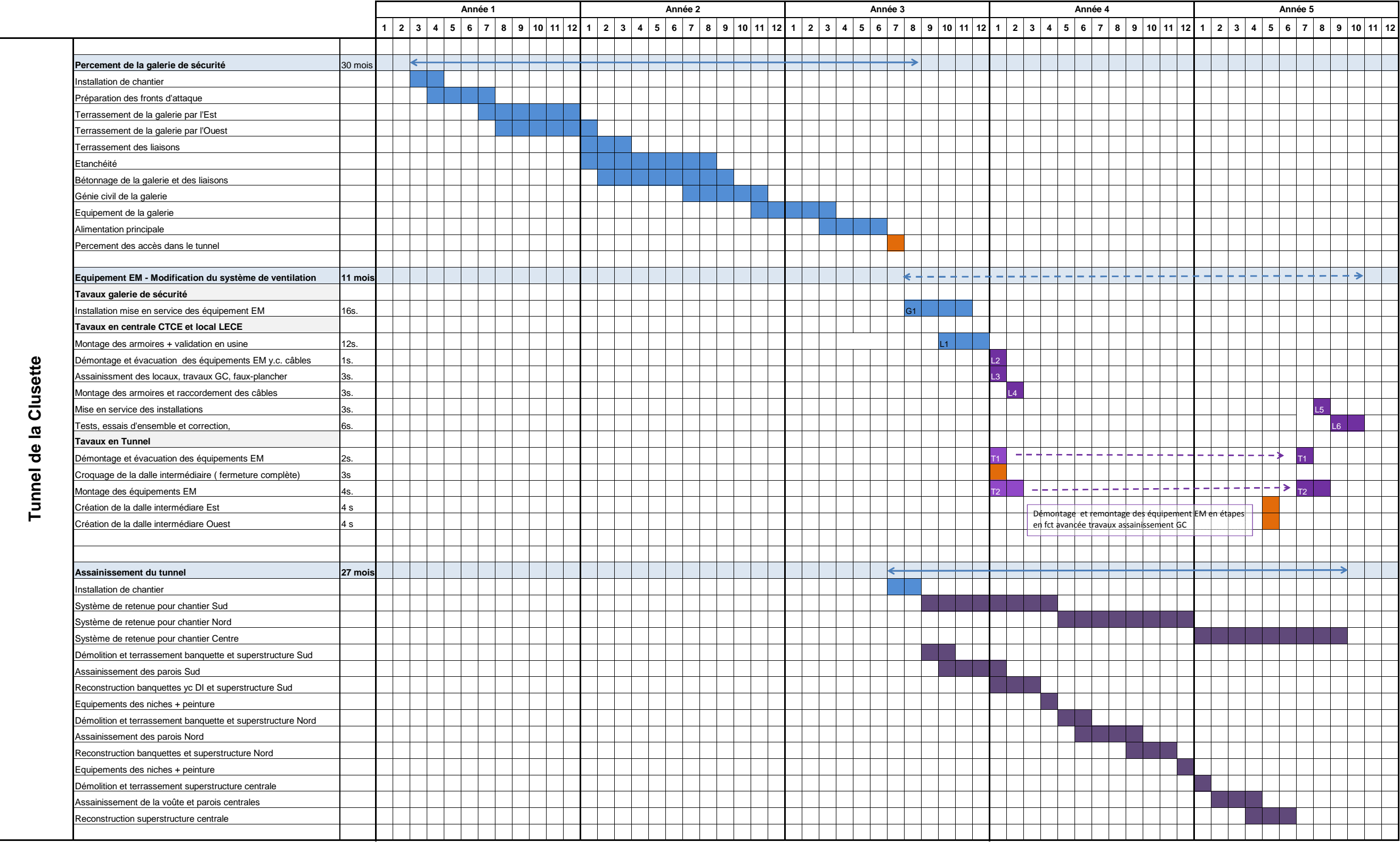


Sécurisation et assainissement du tunnel - Concept d'intervention

ANNEXE E

Programme des travaux

Tunnel de la Clusette



Légende:

-  Travaux sans entrave aux trafic
-  Travaux avec entrave au trafic
-  Travaux avec fermeture du tunnel