

Compagnie du Chemin de fer
Montreux Oberland Bernois SA
CP 1426
1820 Montreux



. **COMMUNE DE MONTREUX, VD**

. **TUNNEL DES AVANTS**

. **Assainissement du tunnel**

PROJET D'ENQUÊTE

Pièce 2

RAPPORT TECHNIQUE


Maître d'ouvrage: Compagnie du Chemin de fer
Montreux Oberland Bernois SA

G. Oberson

P. Billieux

Auteur du projet : D. Collomb :

Date : Montreux, le 15.01.2016

KM	-		
ECHELLE	-	. TUNNEL DES AVANTS . Assainissement du tunnel	
DESS. / CONT.	Dj Cl		
DATE	20.10.2014		
FORMAT	A4		
		MODIFICATIONS	DESS.
		- Renouvellement de l'infrastructure et de la superstructure de la voie -	Kpfr -
Projet No. : 7006.01-RN004i		REPLACE PLAN NO: - 7006.01-RN004h	DATE 15.01.16 -



Compagnie du Chemin de fer Montreux Oberland Bernois SA
Tunnel des Avants
Assainissement du tunnel
Projet d'enquête

2. Rapport technique

Table des matières
Page

0. Préambule	5
1. Introduction	5
1.1 Situation du tunnel existant	5
1.2 Objectifs de la rénovation	7
1.3 Organisation du projet	7
2. Bases du projet	8
2.1 Historique du projet	8
2.2 Ouvrages et constructions proches du tunnel	9
2.3 Géologie	10
2.4 Contraintes principales du projet	12
2.5 Principaux enseignements de l'Avant-projet	12
3. Description du projet	13
3.1 Caractéristiques principales	13
3.2 Tronçon principal (Km 10.946 à 11.086,73 - PM 0 à 140,73)	14
3.2.1 Travaux préalables sur la conduite forcée de Romande Energie S.A.	14
3.2.2 Parois de pieux	15
3.2.3 Dalle de couverture	16
3.2.4 Démolition du tunnel existant	18
3.2.5 Éléments de paroi en béton projeté	18
3.3 Portail amont (Km 11.086,73 à 11.098,73 - PM 140,73 à 152,73)	19
3.3.1 Parois de pieux côté Nord	19
3.3.2 Démolition du tunnel existant	20
3.3.3 Mur côté Sud	20
3.3.4 Dalle de couverture	20
3.4 Niches de sécurité	21
3.5 Drainage du radier	21
3.6 Aménagement intérieur	21
3.7 Ligne de contact	21
3.8 Concept architectural des portails	22
3.8.1 Environnement paysager	22
3.8.2 Forme et implantation	23
3.8.3 Matérialisation	23
3.9 Voiries existantes	25
3.10 Réseaux existants	25
4. Principales phases d'exécution	25
5. Sécurité de la ligne ferroviaire en exploitation pendant les travaux	27
5.1 Principes généraux d'organisation et mesures spécifiques	27
5.2 Dispositifs particuliers	27
6. Éléments de dimensionnement	29

Tunnel des Avants - Projet d'enquête - Rapport technique	4
6.1 Introduction	29
6.2 Gabarit d'espace libre	29
6.3 Hauteur de la ligne de contact	31
6.4 Vérification de la sécurité structurale de la voûte du tunnel existant sous la charge de la foreuse des pieux	31
6.5 Vérification de la sécurité structurale du nouveau tunnel	32
6.6 Mise à terre de l'ouvrage	32
6.6.1 Généralités	32
6.6.2 Concept de mise à terre	32
6.7 Prise en compte des contraintes de voisinage	33
7. Planning de réalisation	34
8. Exploitation de la ligne pendant les travaux	35
9. Devis estimatif	36
10. Foncier	36
10.1 Situation pour la phase travaux	36
10.2 Situation au stade définitif	37

Annexes

1. Instrumentation pour le suivi du comportement de la voûte du tunnel existant	
1.1 Dispositif envisagé N° 1	
1.2 Dispositif envisagé N° 2	
2. Concept de mise à terre de l'ouvrage	
2.1 Section transversale	
2.2 Liaison des poteaux	
2.3 Vue en perspective	
3. Plannings	
3.1 Version 1 : prudent	
3.2 Version 2 : volontariste	
4. Devis estimatif	
4.1 Devis estimatif GC	
4.2 Devis estimatif déviation de la conduite forcée	

0. Préambule

Le présent document est une mise à jour du rapport technique du projet de rénovation du tunnel des Avants. Il donne suite à la décision prise par le Maître d'Ouvrage (MOB) en 2015 de profiter de ces travaux pour refaire à neuf la voie dans le tunnel.

1. Introduction

1.1 Situation du tunnel existant

Le tunnel des Avants est situé sur la ligne de chemin de fer du Montreux Oberland Bernois (MOB), immédiatement à l'amont de la gare MOB des Avants et de la gare inférieure du funiculaire Les Avants – Sonloup. Il concerne le tronçon du km 10.946 au km 11.098,73 du chainage général de la ligne MOB.

La situation générale de ce tunnel et son environnement immédiat font l'objet de la figure suivante.

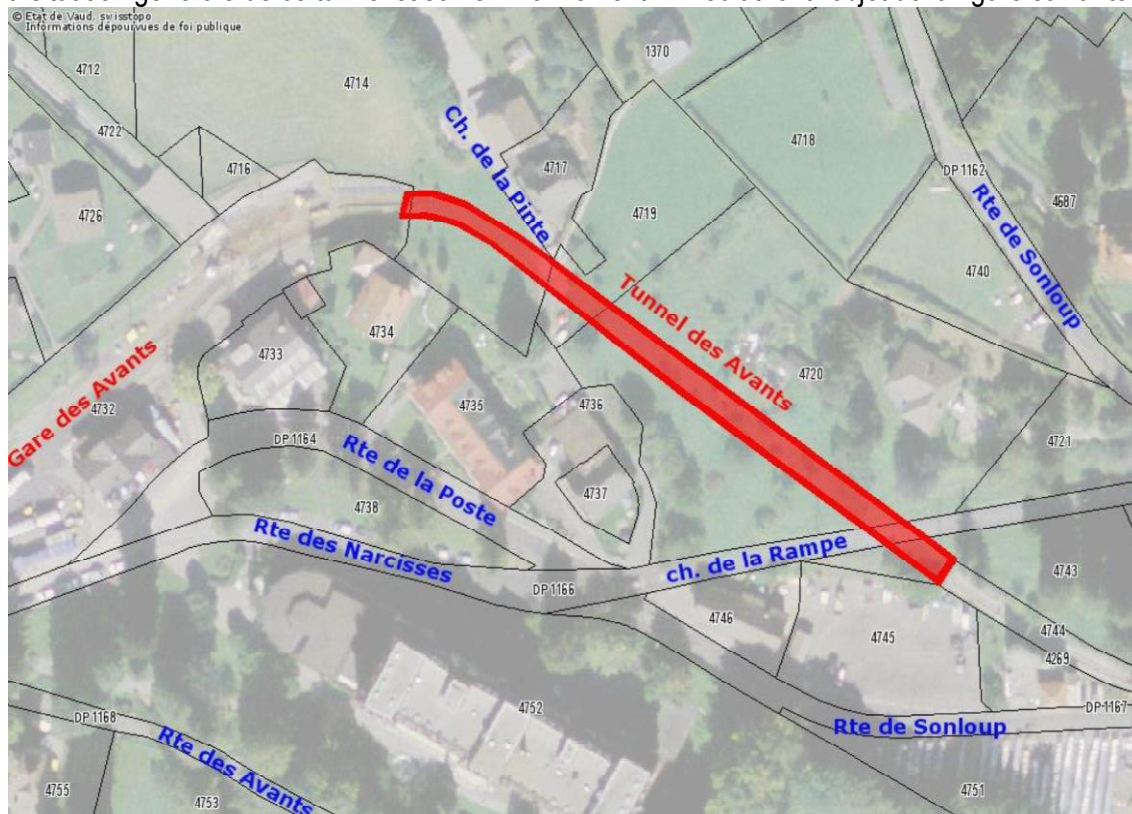


Fig 1 : Situation générale du tunnel des Avants

Construit en 1901, l'ouvrage présente les caractéristiques principales suivantes :

- Tunnel monotube à simple voie (écartement métrique).
- Longueur : 153 m.
- Faible profondeur.

- Gabarit étroit correspondant au standard des chemins de fer à voie métrique du début du siècle dernier.
- Caténaire rigide.
- 3 niches de sécurité.
- Altitude du portail aval : 990 m environ.

Les photographies ci-après concernent respectivement les portails aval et amont du tunnel.



Photographies 1 et 2 : Tunnel des Avants – Zone des portails aval et amont

Les photographies ci-après donnent un aperçu de la section courante du tunnel.



Photographies 3 et 4 : Tunnel des Avants – Section courante du tunnel

Dans le tunnel, le tracé de la voie est en courbe sur 24 m, pour un rayon de 49 m, et en alignement sur 129 m. Il s'inscrit en rampe constante de 6.6 %.

Les conditions d'exploitation et de sécurité offertes par cet ouvrage sont peu satisfaisantes, tant vis à vis du gabarit dégagé, de l'état du revêtement, des conditions de maintenance hivernale de la ligne (formation de glace en voûte) que pour la problématique d'évacuation des voyageurs en cas d'arrêt d'un train dans le tunnel.

En ce qui concerne le gabarit, le MOB déplore occasionnellement des "touchettes" de rétroviseurs des locomotives, ceci quand bien même une petite engravure longitudinale a été réalisée par le passé sur un parement à hauteur des rétroviseurs (rabotage de moellons à l'extérieur de la courbe).

1.2 Objectifs de la rénovation

La rénovation du tunnel des Avants vise sa mise aux normes en matière de sécurité pour les voyageurs et pour le personnel d'entretien, ainsi qu'en matière de gabarit.

Elle vise également de meilleures conditions d'exploitation, notamment en période hivernale.

Elle ne vise cependant pas une augmentation de la vitesse commerciale de la ligne, eu égard à la proximité de la gare des Avants et aux forts impacts sur le bâti qu'aurait entraîné une augmentation significative du rayon de la courbe en entrée de tunnel côté aval.

1.3 Organisation du projet

Pour la **phase étude** jusqu'au projet définitif au sens du règlement SIA 103, l'organisation du projet est la suivante :

Maître de l'Ouvrage (MO) :	Compagnie du Chemin de Fer Montreux – Oberland Bernois (MOB)
Mandataire (bureau d'ingénieurs) :	BG Ingénieurs-conseils SA, Lausanne
Architecte (traitement des portails) :	Architram Architecture et Urbanisme SA, Renens
Expert selon dir. OCI-CF du 1^{er} juillet 2013:	M. Gencer, bureau Karakas & Français SA, Lausanne

Pour la **phase exécution**, depuis la rédaction des documents d'appel d'offres aux entreprises jusqu'au dossier de l'ouvrage exécuté au sens du règlement SIA 103, l'organisation du projet est la suivante :

Maître de l'Ouvrage (MO) :	Compagnie du Chemin de Fer Montreux – Oberland Bernois (MOB)
Entrepreneur :	L'entreprise adjudicataire (l'appel d'offres correspondant est à faire)
Mandataire et Direction des travaux (DT) :	Le mandataire adjudicataire (l'appel d'offres correspondant est à faire)

2. Bases du projet

2.1 Historique du projet

Le tunnel des Avants a été construit en 1901, dans la foulée du tronçon Montreux – Les Avants inauguré le 18 décembre 1901. Rattaché de facto au tronçon suivant de la ligne MOB : le tronçon les Avants – Montbovon, la mise en service commerciale du tunnel correspond à celle de l'entier de ce 2^{ème} tronçon, c'est-à-dire le 1^{er} octobre 1903.

Nous n'avons retrouvé aucun document d'archive sur ce tunnel, si ce n'est l'inscription très approximative de son tracé sur une carte de 1905 dont un extrait est reporté à titre indicatif ci-après.



Habitations sur parcelles cadastrées 4714 et 4717

Fig 2 : Situation de la ligne sur la commune des Avants - extrait d'une carte de 1905

On constate notamment sur cet extrait la présence de deux habitations assez peu éloignées du tunnel. Ces habitations qui sont encore existantes sur les parcelles 4714 et 4717 ont apparemment très bien vécu les travaux du tunnel puisque, construites au XIX^e siècle, leur état actuel de conservation paraît tout à fait satisfaisant¹.

Par ailleurs, le contexte de très faible couverture de ce tunnel et la morphologie du terrain en surface rend hautement probable l'hypothèse d'une **réalisation à ciel ouvert de cet ouvrage suivie d'un remblai constitué pour l'essentiel par le matériau auparavant excavé**.

¹ Ces habitations ont des fondations superficielles et sont dépourvues de cave selon les informations fournies au soussigné par Monsieur P. Haari (cf. compte rendu de la réunion du 25 novembre 2009 – réf. BG 7006.01-CR004a).

2.2 Ouvrages et constructions proches du tunnel

Les ouvrages et constructions qui impactent plus ou moins directement sur le projet de rénovation du tunnel des Avants sont (voir figure 1 et pièce 8.2) :

- La gare des Avants.
- L'appendice de la maison sur le terrain cadastré 4734.
- Trois garages dans le périmètre du projet sur le terrain cadastré 4719.
- Deux garages accolés proches du périmètre du projet sur le terrain cadastré 4717.
- Le chemin de la Pinte ainsi qu'une sur largeur côté Nord de cette voirie sur la parcelle 4736.
- Le chemin de la Rampe.
- Une conduite métallique rivetée DN650 mm avec de l'eau sous pression (ordre de 10 bars) à faible profondeur, plus ou moins le long du chemin de la Rampe. Il est à noter à ce sujet les points suivants :
 - La conduite a été réalisée avant le tunnel des Avants.
 - Elle est apparente en calotte du tunnel au PM 123 (voir photographie 5 ci-après).
 - Elle est en mauvais état comme l'attestent les réparations fréquentes nécessaires, la dernière à notre connaissance étant celle du 18 mai 2010 du fait d'une fuite observée (voir photographie 6 ci-après).
 - L'eau transportée est turbinée à la centrale de Sonzier (Romande Energie S.A.) et ensuite conduite jusqu'à Lausanne pour une utilisation comme eau de boisson.
 - Romande Energie S.A a le projet de dévier cette conduite dans le secteur des Avants, projet qui supprimera de facto tout conflit avec le tunnel. A ce jour, le planning de réalisation de la déviation de cette conduite n'est cependant pas définitivement arrêté, raison pour laquelle on considèrera par prudence ici la nécessité de dévier la conduite dans le cadre de notre projet.



Photographie 5 : Conduite en calotte du tunnel au PM 123



Photographie 6 : Intervention sur la conduite le 18 mai 2010 pour colmater une fuite

2.3 Géologie

Les seules données géologiques / géotechniques disponibles au début de l'étude étaient :

- Deux cartes géologiques, la plus précise étant à l'échelle du 1/7500.
- Les valeurs de calcul retenues par le bureau d'études *Karakas & Français* pour le dimensionnement des parois clouées construites en 2008 entre la gare des Avants et le portail aval du tunnel.

Ces références font état de la présence d'alluvions en surface, à proximité du portail aval du tunnel, et de moraine compacte plus en profondeur. De la deuxième référence, on tire notamment les indications suivantes :

- Une profondeur d'alluvions vers 1.50 m au niveau du mur droit situé immédiatement avant le portail aval du tunnel (sens du chaînage MOB).
- Des valeurs géotechniques pour la moraine : angle de frottement 31° , cohésion 5 kN/m^2 , masse spécifique 21 kN/m^3 .

Une reconnaissance géotechnique par sondages carottés a été réalisée fin 2011 – début 2012². Elle a permis d'affiner le projet sur ses composantes suivantes :

- Le soutènement des talus provisoires, avec notamment les caractéristiques du boulonnage et des ancrages provisoires localement nécessaires,
- L'armature des éléments de structure B.A. (pieux forés et dalle),
- L'épaisseur de la voûte maçonnée existante du tunnel.

² L'adjudication des travaux a été faite en janvier 2010. Sa réalisation, prévue initialement pour avril 2010, n'a pas pu commencer avant fin 2011 du fait de l'opposition d'un propriétaire.

Le programme prévu initialement comprenait 5 forages verticaux de 15 à 18 m environ réalisés depuis la surface et de 11 forages horizontaux courts de 2.5 m environ réalisés depuis l'intérieur du tunnel.

La position de ces sondages est donnée à titre indicatif à la figure suivante, ainsi que quelques éléments de localisation et d'environnement immédiat du projet.

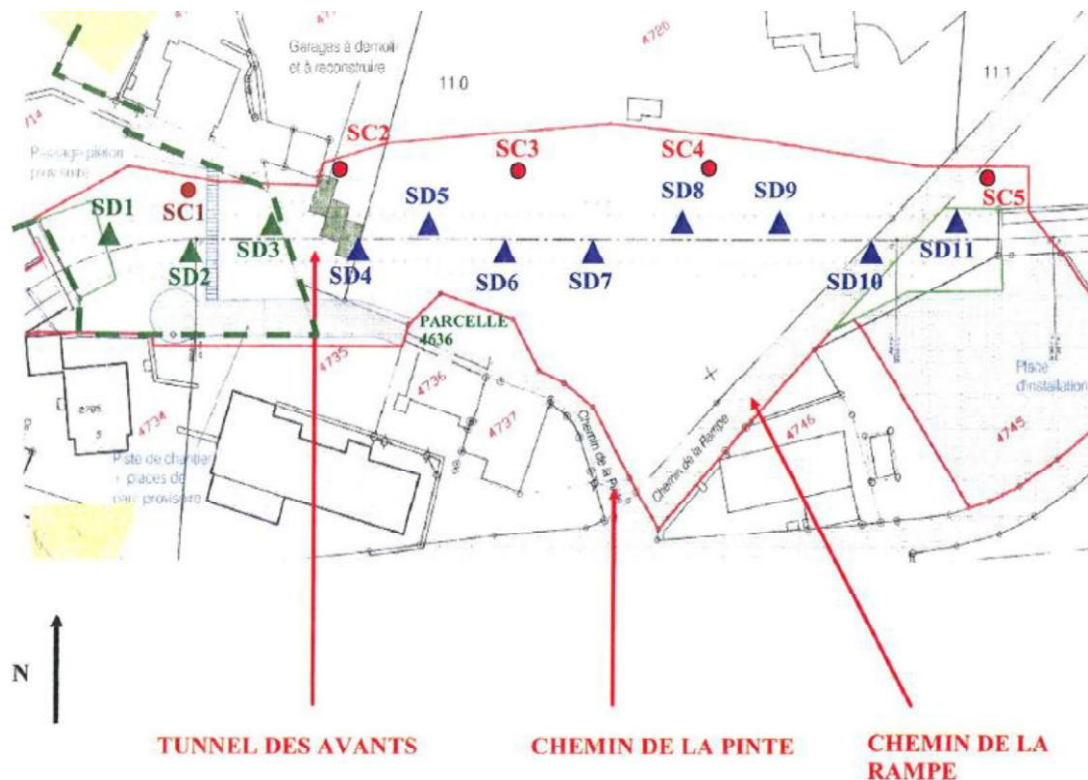


Fig 3 : Localisation des sondages prévus - Légende : SC : sondages carottés réalisés verticalement depuis la surface, long de 15 à 18 m, SD : sondages carottés réalisés en paroi depuis l'intérieur du tunnel, long de 2.5 m

L'opposition d'un propriétaire a conduit à amputer ce programme d'un forage vertical depuis la surface (SC1) et de 3 forages horizontaux courts depuis l'intérieur du tunnel (SD1, SD2 et SD3).

Suite à la décision de remettre à neuf l'infrastructure ferroviaire, deux sondages complémentaires ont été réalisés en janvier 2016 afin de qualifier une éventuelle pollution du ballast et du terrain sous-jacent dans le tunnel, ainsi que de mesurer la portance de la plate-forme. Il en ressort les informations principales suivantes :

- Une pollution plus ou moins marquée du ballast et terrain immédiatement sous-jacent.
- Une portance du terrain suffisante au niveau de la future assise de la plateforme ferroviaire (80 cm environ sous le PDR), le module de déformation minimal mesuré en sondage étant d'environ 30 MN/m2.

2.4 Contraintes principales du projet

Les contraintes principales pour la réalisation du projet sont les suivantes :

- Un contexte urbanisé, avec notamment pour corollaire la présence de constructions sur ou à proximité immédiate du tunnel, ainsi que la nécessité de limiter les travaux de nuit.
- Un très faible recouvrement de terrain au-dessus du tunnel existant.
- L'inscription du tracé en forte rampe sur l'entier du tronçon Les Avants – Tunnel de Jaman, c'est-à-dire sur un peu plus de 3,2 km, avec pour corollaire l'impossibilité d'abaisser le profil en long du tunnel des Avants sans augmenter encore les rampes à l'amont du tunnel.
- La nécessité de maintenir l'exploitation de la ligne pendant l'essentiel de la durée des travaux.
- L'adoption du gabarit d'espace libre A selon DE-OCF.
- La nécessité d'une remise en état des lieux après travaux autant que possible à l'identique, notamment pour les 3 garages démolis et les chemins de la Pinte et de la Rampe.
- La nécessité de maintenir pendant toute la durée des travaux un accès piétons et aux personnes à mobilité réduite à l'extrémité du chemin de la Pinte.
- La nécessité de maintenir l'exploitation de la conduite forcée de Romande Energie S.A.

Ces contraintes influent toutes de manière forte sur les solutions envisageables, tant en terme de conception et de planification générale qu'en terme de coût.

2.5 Principaux enseignements de l'Avant-projet

Les études réalisées au stade de l'Avant-Projet ont considérés des techniques de construction souterraines, en tranchée couverte et en taupe, ainsi que les hauteurs de ligne de contact pour des caténaires dites normale, compensée ou rigide.

Il a en outre été envisagé les techniques de pieux et de parois moulées pour la méthode de construction en taupe.

Les principales conclusions du rapport de synthèse des études d'Avant-Projet sont indiquées ci-après :

- La méthode de réalisation en taupe avec paroi de pieux est la mieux adaptée au projet du fait du peu de recouvrement au-dessus du tunnel actuel et de la nécessité de maintenir l'exploitation ferroviaire pendant les travaux.
- Une hauteur sous dalle de 5,55 m par rapport au plan de roulement est optimale sur le plan technique, de la réduction des impacts et de l'économie du projet. Elle correspond à une hauteur d'un peu plus de 1 m par rapport à la clef de la voûte actuelle et permet de dégager une marge importante pour la caténaire.

3. Description du projet

3.1 Caractéristiques principales

Le projet consiste pour l'essentiel :

- à remplacer le tunnel existant en voûte maçonnée par un ouvrage cadre en béton armé (galerie) constitué par une dalle et deux parois de pieux forés réalisés à l'extérieur du périmètre de la voûte existante,
- à remplacer le drainage et la voie existante.

La section type cadre correspondante, réalisée pour partie à ciel ouvert et pour partie en taupe, est donnée ci-après en superposition de la section existante (figuré approximatif en vert) et du gabarit d'espace libre A selon DE-OCF.

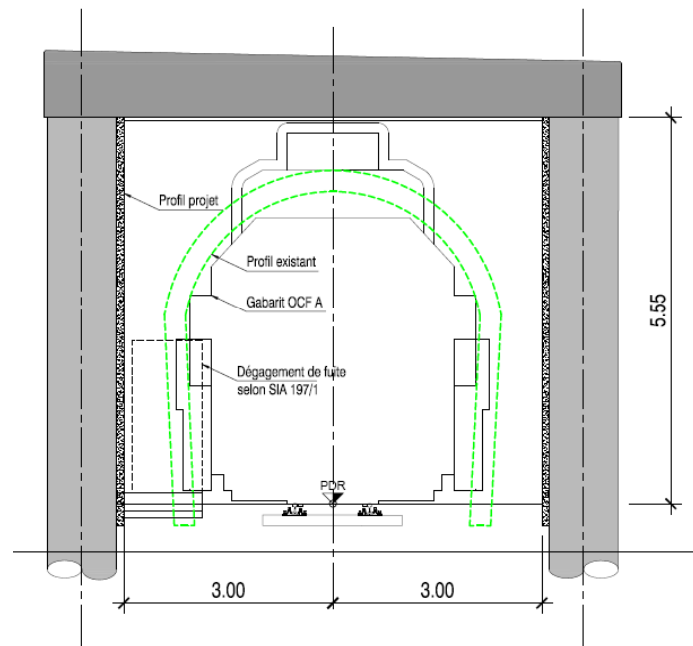


Fig 4 : Section type du tunnel projeté réalisé en taupe, avec superposition de la voûte du tunnel existant

Ni le tracé de la voie ni le PDR ne sont modifiés, non plus que sa longueur. Seule la superstructure et l'infrastructure ferroviaires sont remplacées. De plus, huit niches de sécurité sont prévues sur la longueur du tunnel.

La technique de réalisation "en taupe" est retenue pour l'entier du tunnel, sauf pour son portail amont. Elle permet de limiter au strict minimum :

- L'interruption de l'exploitation de la ligne pendant les travaux.
- L'emprise du chantier en surface.
- La gêne aux riverains.

Elle concerne une longueur de 140.73 m (du km 10.94600 au km 11.08673 du chainage général de la ligne du MOB) et correspond à la réalisation des parties d'ouvrage principales suivantes :

- Deux parois de pieux.
- Une dalle en béton armé appuyée sur les pieux.
- Des murs en béton projeté armé entre les pieux.

Le portail amont concerne une longueur de 12 m (du km 11.08673 au km 11.09873 du chainage général de la ligne du MOB) et correspond à la réalisation des parties d'ouvrage principales suivantes :

- Une paroi de pieux au Nord.
- Un mur au Sud.
- Une dalle en béton armé appuyée d'un côté sur les pieux et de l'autre sur le mur.
- Des éléments de paroi en béton projeté armé entre les pieux au Nord.

Compte tenu de la nécessité de réaliser les pieux sans perturber la stabilité de la voûte existante, l'intrados des pieux sur le tronçon en alignement a été positionné à 1 m de l'intrados de la maçonnerie existante, c'est-à-dire à environ 0.2 à 0.6 m de l'extrados de cette maçonnerie.

Il en résulte pour le tunnel en section courante un entraxe des deux lignes de pieux de 7.2 m et une **ouverture du tunnel à l'intrados du revêtement définitif de 6 m** (2 x 3 m). Cette dimension permet le dégagement d'un gabarit pour un cheminement piéton de 1.2 à 1.35 m en dehors du gabarit A selon DE-OCF. Pour le secteur du portail amont (longueur 12 m), l'ouverture du tunnel est réduite à 5.75 m pour des raisons d'emprise extérieure, le cheminement piéton n'étant prévu ici que par le trottoir qui court côté montagne sur l'entier de la longueur du tunnel.

La hauteur sous dalle du profil est de 5,55 m par rapport au plan de roulement. Elle correspond au niveau + 1 m par rapport à la clef de la voûte actuelle.

En définitive, les gabarits intrados suivants sont considérés, hors sur-largeur au niveau des niches :

- 5.55 x 6.00 du PM 0 au PM 140.73.
- 5.55 x 5.75 du PM 140.73 au PM 152.73.

3.2 Tronçon principal (Km 10.946 à 11.086,73 - PM 0 à 140,73)

3.2.1 Travaux préalables sur la conduite forcée de Romande Energie S.A.

Le tronçon de la conduite forcée en acier DN 650 mm de Romande Energie S.A. qui passe au-dessus du tunnel actuel (au PM 123) sera, soit dévié avant les travaux du tunnel, soit démonté en 1^{ère} phase de ces travaux, selon que la nouvelle conduite forcée projetée par Romande Energie SA aura été réalisée ou pas d'ici mi-2017 (voir explications au chapitre 7).

La pièce 8.10 du dossier "Déviation de la conduite forcée" explicite sous forme graphique le projet retenu pour le cas où la déviation de cette conduite sur le linéaire en conflit avec le tunnel devait être réalisée dans le cadre des travaux du tunnel.

Dimensionnée pour pression de l'ordre de 10 bars, la conduite déviée a une longueur totale de 50 m environ et comprend :

- un coude de 30° environ au raccordement amont sur la conduite existante (plan subhorizontal);
- un tronçon rectiligne de 25 m environ;
- un deuxième coude de 100° environ (plan subhorizontal);
- un deuxième tronçon rectiligne de 16 m environ (au travers de la future dalle de couverture du tunnel);
- un troisième coude de 90° environ (plan subvertical) pour le raccordement aval sur la conduite existante.

A chaque coude un bloc d'ancrage est prévu pour tenir les efforts engendrés par la déviation.

3.2.2 Parois de pieux

Les deux parois de pieux sur la longueur du tronçon principal du tunnel devront remplir les fonctions suivantes :

- Servir d'appui à la dalle de couverture.
- Soutenir le terrain de part et d'autre du tunnel.
- Servir d'appui aux éléments de paroi en béton projeté (parements).

Des élargissements de la paroi sont prévus localement pour constituer les niches de sécurité.

Les principales caractéristiques des pieux sont les suivantes :

- Diamètre extérieur : 1 000 mm.
- Longueur : env. 11 m.
- Espacement 1.80 m.

La photographie suivante donne un bon aperçu de la partie supérieure des pieux peu après leur bétonnage et avant leur recépage.



Photographie 7 : Pieux forés en attente de recépage (cas d'un tunnel réalisé en taupe)

3.2.3 Dalle de couverture

La dalle de couverture est positionnée en référence du tracé de la voie, c'est à dire selon une pente longitudinale de 6.6% à + 5.5 m au-dessus du plan de roulement (PDR).

Transversalement, sa surface supérieure présente une pente de 2 % alors que sa surface inférieure est horizontale. Son épaisseur est donc variable, avec une moyenne d'environ 88 cm à mi-portée.

Sa largeur est de 8,3 m environ en section courante.

Elle est bétonnée "sur terre", en continuité des pieux, après réglage de la surface et mise en place d'une feuille plastique. Elle est reliée statiquement aux pieux par des fers d'armature.

Les deux photographies ci-après donnent un bon exemple des situations aux étapes suivantes des travaux :

- Juste avant le bétonnage de la dalle.
- Peu avant et peu après le bétonnage de la dalle /réalisation par étapes.



Photographie 8 : Pieux recepés et assise de la dalle en attente de son bétonnage



Photographie 9 : Ferrailage / bétonnage d'un tronçon de la dalle

Après bétonnage de la dalle, l'étanchéité de sa surface supérieure est réalisée avec un lé en bitume polymère (LPB) et est protégée par une couche type BEKA PVC.

3.2.4 Démolition du tunnel existant

Après remblayage du terrain au-dessus de la dalle et fermeture temporaire de la ligne de chemin de fer, la ligne de contact est démontée et la voûte de l'ancien tunnel démolie ainsi que le terrain immédiatement alentour jusqu'à la dalle et jusqu'aux pieux.

Les deux photographies suivantes donnent un bon aperçu de la situation à cette phase, les travaux d'excavation étant réalisés à l'abri de la dalle de couverture et des deux parois de pieux.



Photographie 10 : Vue d'un tunnel immédiatement après démolition de son ancienne voûte

Photographie 11 : Vue des pieux après démolition de l'ancienne voûte (soutènement provisoire pas encore réalisé ici)

Un béton projeté de soutènement provisoire est réalisé contre le terrain (entre les pieux) immédiatement après l'excavation.

Au stade actuel du projet, on évalue la fermeture temporaire du tronçon au trafic ferroviaire à 5 semaines.

3.2.5 Éléments de paroi en béton projeté

Un complexe de drainage étanchéité (lé d'étanchéité et une natte drainante) est posé contre le soutènement provisoire en béton projeté et des connecteurs sont scellés dans les pieux.

Une 1^{ère} nappe de treillis d'armature liée aux connecteurs est ensuite posée entre les pieux, après quoi le revêtement définitif d'épaisseur totale 20 cm est réalisé en béton projeté avec une

2^{ème} nappe de treillis d'armature. Afin d'améliorer les propriétés du béton, il est possible de lui ajouter des fibres.

Les deux photographies suivantes donnent un bon aperçu de la situation à cette phase, ces travaux étant réalisés par étapes dans le sens longitudinal.



Photographie 12 : Préparation des parois entre les pieux



Photographie 13 : Réalisation du revêtement définitif des parois en béton projeté

L'épaisseur de 20 cm retenue pour le revêtement définitif répond principalement à un objectif d'isolation thermique pour éviter le gel dans la natte drainante.

Enfin, des sorties de drainage des parois sont aménagés en base de piédroit pour les relier au drain HDPE.

3.3 Portail amont (Km 11.086,73 à 11.098,73 - PM 140,73 à 152,73)

3.3.1 Parois de pieux côté Nord

Une paroi de pieux est réalisée du côté Nord sur la longueur du portail amont en continuité de la paroi Nord (côté montagne) du tronçon principal.

Ces caractéristiques sont identiques à celles définies au chapitre 3.2.2.

A la différence cependant du tronçon principal, des tirants d'ancrage sont réalisés contre une longrine en tête des pieux du portail amont pour soutenir provisoirement le terrain après que le tunnel existant aura été démoli. La longrine est visible sur le plan des profils normaux pièces 8.5.

Les caractéristiques de la longrine sont les suivantes :

- Section: 1.2 x 0.85 m.
- Longueur: 12 m.

Les caractéristiques des tirants sont les suivantes :

- Longueur libre : $L_f = 8$ m.
- Longueur de scellement : $L_s = 6$ m.
- Charge de rupture : $TR = 650$ kN.
- Espacement : $e = 3.6$ m.

3.3.2 Démolition du tunnel existant

La démolition du tunnel existant sur les 12 m linéaires du portail amont est réalisée en même temps que la démolition de l'entier du tunnel.

3.3.3 Mur côté Sud

Un mur fondé sur semelle est réalisé du côté Sud sur la longueur du portail amont.

Il est dimensionné pour reprendre la poussée des terres côté Nord (côté montagne) reprise provisoirement par les ancrages indiqués au chapitre précédent.

Il a fait l'objet d'un traitement architectural explicité au chapitre 3.8 et pièce 8.6

Ses dimensions principales sont les suivantes :

- Hauteur : 6.1 m.
- Epaisseur en haut : 1 m.
- Epaisseur en bas : 1.40 m.
- Largeur de la semelle: 7.4 m.

3.3.4 Dalle de couverture

La dalle de couverture sur les 12 m linéaires du portail amont est positionnée en continuité de la dalle du tronçon principal. Sa pente longitudinale est donc de 6.6 % alors que la pente transversale de sa surface supérieure est de 2 %. La pente transversale de sa surface inférieure est de 0 %.

Transversalement, l'épaisseur de cette dalle est donc variable, avec une valeur d'environ 48 cm à mi-portée. Sa largeur est de 7 m environ.

Elle est bétonnée à partir d'un coffrage constitué d'une prédalle de 20 cm d'épaisseur, en continuité des pieux au Nord et du mur au Sud, éléments auxquels elle est reliée statiquement par des fers d'armature.

Son étanchéité est réalisée de la même manière et en continuité de celle du tronçon principal.

3.4 Niches de sécurité

Comme déjà mentionné précédemment, 8 niches de sécurité sont prévues en tunnel. Elles sont disposées sur le tronçon principal tous les 25 m environ, alternativement de part et d'autre de la voie sauf à proximité des portails où deux niches se font face, voir pièce 8.2.

Elles consistent en des élargissements locaux du tunnel (parois de pieux + dalle de couverture) selon les dimensions suivantes :

- Profondeur des niches : environ 1.8 m.
- Longueur des niches: environ 2.6 m.
- Hauteur des niches : environ 5.6 m.

Leur mode de réalisation ne diffère pas de celui du reste du tunnel : pieux, dalle de couverture, excavation, soutènement provisoire en béton projeté, drainage + étanchéité et revêtement définitif en béton projeté.

3.5 Drainage du radier

La collecte des eaux d'infiltration dans les parements est assurée à la base des piédroits par deux drains HDPE Ø 200 mm. Ces drains sont reliés à la natte drainante des parois.

Au niveau de la voie, une couche étanche en béton bitumineux avec une pente de 3% sépare le ballast de la grave de fondation. Le drainage de la plateforme ferroviaire se fait ainsi en direction du drain lac.

12 chambres de curage sont disposées en regard de niches de sécurité. Leur espacement maximal est de 50 m, leur diamètre intérieur de 50 cm.

3.6 Aménagement intérieur

Une main courante et un trottoir latéral associé à un bloc de batterie à câbles sont prévus côté montagne du tunnel (côté Nord).

Les dimensions du trottoir en section courante sont 135 x 80 cm avec un niveau supérieur à + 15 cm en dessus du PDR.

Dans la courbe, la section courante est réduite à 120 x 80 cm avec un niveau supérieur à la même hauteur que le PDR.

Côté lac (Sud), la partie supérieure du ballast est recouverte d'une couche de gravier de manière à créer une piste le long du piédroit.

3.7 Ligne de contact

Le tunnel sera équipé d'une ligne de contact rigide avec des consoles coulissantes.

La hauteur du fil de contact sera de 5.2 m.

Les caractéristiques principales de la ligne de contact sont indiquées ci-après :

- **Consoles** : de type coulissantes. Elles seront équipées de garnitures isolantes.
- **Mise à terre** : un câble de mise à terre en cuivre de 95 mm² de section connectera toutes les consoles. Des liaisons équipotentielles seront réalisées aux deux portails du tunnel.
- **Caténaire** : fil de contact Cu 107 mm² pincé dans le profil d'aluminium.
- **Isolation** : 1.5 kV pour les isolateurs de la caténaire.

Il est à noter que la ligne de contact rigide ne nécessite pas de feeder, la section équivalente cuivre étant de 1288 mm² (fil de contact de 107 mm²)

3.8 Concept architectural des portails

La conception des portails a fait l'objet d'un traitement architectural par le bureau Architram.

Le plan correspondant fait l'objet de la pièce 8.6 du dossier.

Quelques éléments d'explication de la conception retenue sont donnés dans les deux chapitres suivants.

3.8.1 Environnement paysager

Le tunnel est inséré à l'intérieur du village, sous un pli du terrain. Le site dégage une atmosphère montagnaise du fait de la présence de sommets aux alentours tels que la Dent de Jaman et les Rochers de Naye. Le portail aval est enclavé dans le terrain mais reste visible depuis la gare et le funiculaire. Le portail amont est plus dégagé, il est appuyé sur une seule face de talus et un parking jouxte directement l'ouvrage.



Photographie 13 : Portails amont et aval

3.8.2 Forme et implantation

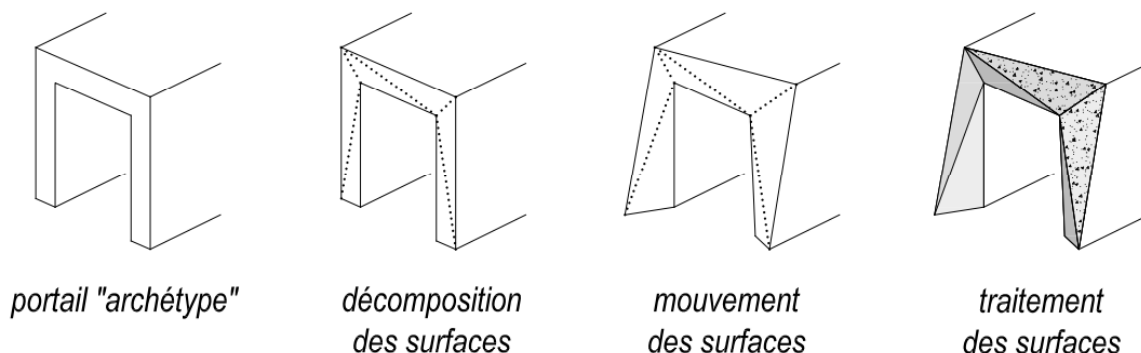
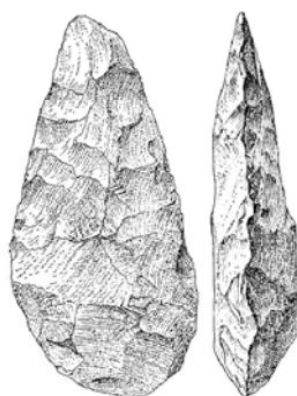


Fig 5: Décomposition des mouvements (source Architram)

La forme finale des portails en béton provient d'un processus de décomposition et de mouvement des surfaces de la forme archétypale du nouveau tunnel. Ce déplacement s'effectue selon les contraintes de la topographie et du contexte: en négatif pour le portail aval (enclavé) et en positif pour le portail amont (dégagé). Les formes ainsi créées laissent apparaître un jeu de facettes, concave ou convexe, produisant des ombrages différents ainsi que des arêtes vives clairement marquées. Les nouveaux portails contrastent ainsi avec les murs de soutènement en pierre existants en adoptant un langage formel résolument contemporain.

3.8.3 Matérialisation

Deux traitements de surface de béton distincts sont proposés: un **bouchardage** de différentes tailles, de grossier à fin, qui fait ressortir la structure brute et la granulométrie naturelle du matériau et un **béton lisse** avec un glacis légèrement réfléchissant qui apporte un aspect fini et soigné. L'alternance s'effectue par facettes et progressivement, du dehors (bouchardage) au dedans (lissage).



silex taillé

Fig 6: Silex taille (source Architram)

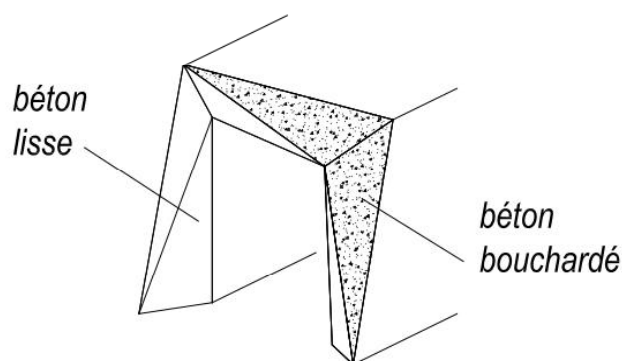
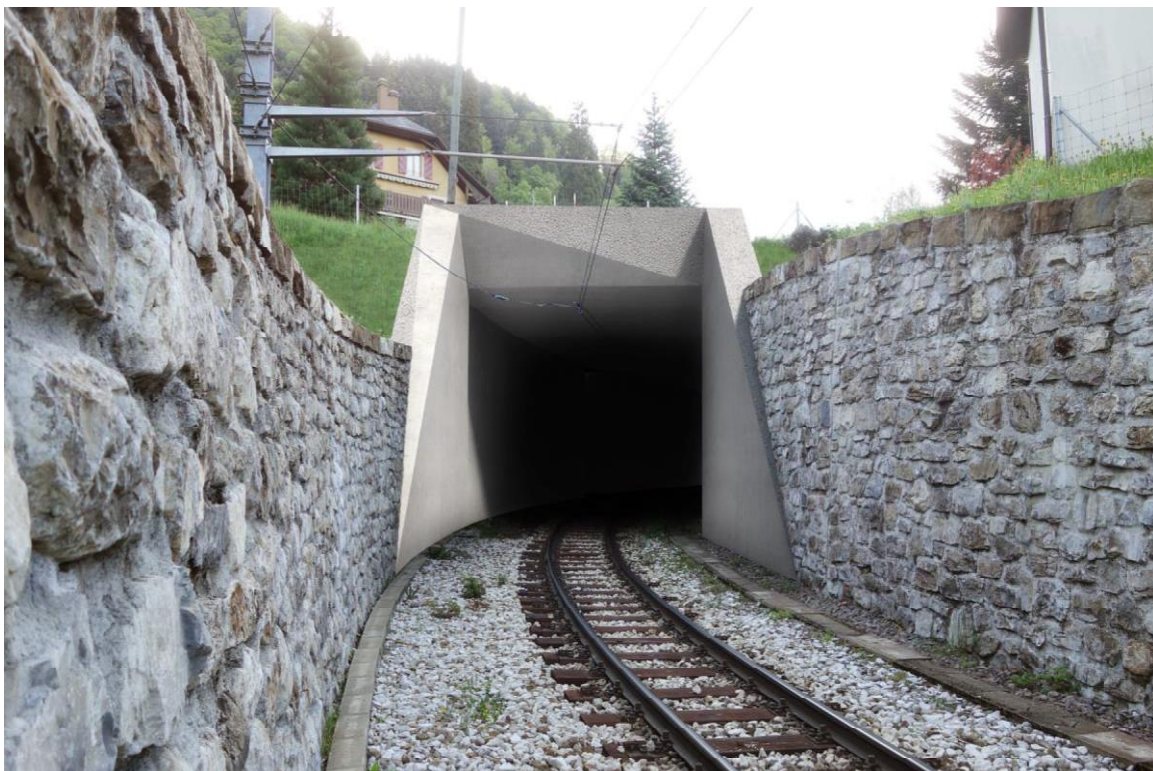


Fig 7: Aspect du béton (source Architram)

Ce principe de traitement ainsi que les arêtes vives évoquent l'idée d'un bloc minéral brut issu de la montagne, que l'on aurait taillé, affiné et poli afin de le transformer en un objet utile et fonctionnel pour l'être humain, à la manière ancestrale d'un bloc de silex.



Photographie 14 : Photomontage du portail amont



Photographie 15 : Photomontage du portail aval

3.9 Voiries existantes

Le chemin de la Rampe et le chemin de la Pinte seront coupés pendant les travaux pour une durée d'environ 20 mois.

Les deux voiries seront remis en état à l'identique après les travaux.

3.10 Réseaux existants

Le projet nécessite la déviation de conduites et câbles des réseaux existants dans le périmètre du tunnel pour tout à partie de la durée des travaux.

Toutes les mesures sont prises pour que les perturbations inévitables de ces opérations pour les riverains soient réduites au minimum dans le temps et dans l'espace.

4. Principales phases d'exécution

Les travaux sont prévus avec une interruption de l'exploitation de la ligne en journée aussi minimale que possible et pour un horaire normal de travail la nuit de 22.15 h à 5.45 h.

Les principales phases de travail sont listées ci-après, voir pièce 8.9 :

Phase 0 – Travaux anticipés de déviation de la conduite forcée, pour le cas où la nouvelle conduite projetée par Romane Energie S.A. devait ne pas être réalisée d'ici mi-2017, une déviation locale serait réalisée dans le cadre des travaux du tunnel travaux réalisés de jour, sous exploitation ferroviaire normale.

Phase 1 – Travaux préparatoires extérieurs et travaux extérieurs (de jour, sous exploitation ferroviaire normale)

- Installation de chantier.
- Démolition de 3 garages (extrémité chemin de la Pinte).
- Décapage terre végétale et repérage des conduites existantes.
- Renforcement et/ou déviation des conduites existantes, y c. démolition du tronçon de conduite forcée situé dans le périmètre du tunnel.
- Réalisation passerelle piéton et rampe d'accès chemin de la Pinte.
- Démolition partielle chemin de la Pinte et chemin de la Rampe.
- Terrassement 1^{ère} phase (niveau environ + 2 m au-dessus de la clef de voûte du tunnel existant), en pleine masse, y c. soutènement des talus et supportage ou déplacement conduites existantes.
- Réalisation d'une couche d'assise et d'une dalle de roulement en béton armé pour la circulation des engins de chantier au-dessus du tunnel.

- Réalisation de deux parois de pieux (forage, armature et bétonnage), y c. ripage passerelle piéton).
- Réalisation et ancrages d'une longrine en tête de pieux pour le secteur du portail amont.
- Terrassement 2^{ième} phase (niveau environ + 1 m au-dessus de la clef de voûte du tunnel existant), par étapes en reculant, avec recépage des pieux et préparation assise de la dalle (béton maigre, film PVC).
- Réalisation de la dalle (coffrage, armature, béton), y compris dispositif de mise à terre.
- Étanchéité de la dalle.
- Remblai sur la dalle.
- Reconstruction du chemin de la Pinte et chemin de la Rampe.
- Reconstruction des garages.
- Travaux de finitions (dallage, barrières, ...).
- Terre végétale + végétalisation + plantation arbres.

Phase 2 – Démolition du tunnel existant (de jour et de nuit, exploitation ferroviaire interrompue) :

- Démontage de ligne de contact
- Enlèvement des traverses et des rails et du ballast
- Démolition de la voûte du tunnel existant (travail en taupe, sauf au portail amont);
- Soutènement du découlu de terrain entre les pieux;
- Excavation en radier jusqu'au niveau de la plateforme.

Phase 3 – Construction de la nouvelle voie (de jour et de nuit, exploitation ferroviaire interrompue) :

- Construction de l'infrastructure et de la superstructure de la voie (drainage longitudinal et trottoir non compris).
- Montage nouvelle ligne de contact.

Phase 4 – Revêtement et aménagements intérieur du tunnel (de nuit, sous exploitation ferroviaire normale en journée) :

- Excavation tranchées latérales et mise en place du drainage longitudinal.
- Réalisation des murs de liaison dans le tunnel (drainage, étanchéité, treillis et béton de propreté).
- Reconstruction du portail amont (mur de soutènement, prédalle, dalle couverture acrotère, étanchéité de la dalle, remblayage et barrière de sécurité).
- Réalisation du trottoir côté montagne.
- Construction de la piste côté lac.
- Construction de la main courante.

La pièce 8.9 illustre schématiquement les phases décrites précédemment.

5. Sécurité de la ligne ferroviaire en exploitation pendant les travaux

5.1 Principes généraux d'organisation et mesures spécifiques

Les principes généraux d'organisation et les mesures spécifiques pour la sécurité de la ligne ferroviaire pendant les travaux sont exposés aux chapitres 4 et 5 de la pièce 3 du dossier (Rapport sur la sécurité). Ils ne sont pas répétés ici.

Seuls les dispositifs particuliers envisagés pour garantir la sécurité de la ligne pendant la réalisation de travaux au-dessus de la voûte maçonnée existante (phase 1) sont précisés ci-après.

5.2 Dispositifs particuliers

Le comportement de la voûte du tunnel existant sera suivi en temps réel pendant toute la durée des terrassements, de la réalisation des pieux et de la dalle de couverture.

Pour ce faire, une instrumentation sera mise en place de manière à ce que le centre d'exploitation de Montreux et les principaux responsables des travaux soient alertés, immédiatement et de manière automatique, de tous dépassement de seuils de déformation de la voûte (seuils de vigilance particulière et/ou d'alerte).

Les deux dispositifs décrits ci-après sont envisagés à ce jour, le choix de l'un ou de l'autre ou bien des deux étant reporté à la phase du projet définitif sur la base d'offres techniques et financières détaillées d'entreprises spécialisées.

Dispositif 1 : Faisceau laser en clef de voûte :

Le dispositif 1 prévu comporte les éléments principaux suivants :

- Un émetteur laser, installé quelques centimètres sous la clef de voûte en sortie de courbe du tunnel, c'est-à-dire aux environs du PM 25. Une fiche technique d'un matériel possible est jointe en annexe 1.1.
- Un récepteur installé en clef de voûte au portail amont (à la même hauteur que l'émetteur), c'est-à-dire aux environs du PM 150. Une fiche technique d'un matériel possible est jointe en annexe 1.1.
- Des repères en clef de voûte espacés de 5 m environ (fixés sur les moellons) et alignés sur le rayon laser. Les esquisses correspondantes sont jointes en annexe 1.1. Chaque repère (palette) est réglable de manière à pouvoir repositionner la cible de collimation après chaque rupture du faisceau laser.
- Un ordinateur PC (dans un boîtier de protection étanche) placé par exemple dans le mur existant, juste après la sortie du tunnel dans un petit renforcement à réaliser (matériel à protéger contre le vol) et relié au récepteur.
- Une liaison GSM permettant à l'ordinateur d'envoyer immédiatement une information lorsque le faisceau laser est coupé.

Dispositif 2 : Chaîne d'électro-nivelles en clef de voûte et pour 3 sections particulières :

Le dispositif 2 prévu comporte les éléments principaux suivants :

- Une chaîne longitudinale d'électro-nivelles (par segments de 0,5 m) installée en clef de voûte selon 3 sections de 50 m chacune de manière à couvrir toute la longueur du tunnel. Une fiche technique d'un matériel de ce type est jointe en annexe 1.2.
- Trois chaînes transversales d'électro-nivelles (par segments de 0,3 ou 0,5 m) pour couvrir l'entier de la voûte dans des sections particulières.
- Un système d'acquisition des mesures (centrale Dataloger + Multiplexer) relié aux 3 chaînes longitudinales et aux 3 chaînes transversales.
- Un ordinateur PC (dans un boîtier de protection étanche) placé dans une niche existante dans le tunnel (matériel à protéger contre le vol) et relié au système d'acquisition des mesures.
- Une liaison GSM permettant à l'ordinateur d'envoyer immédiatement une information lorsqu'un seuil de déformation de la voûte est dépassé.

On prévoit de positionner comme suit les sections transversales :

- Une section dans la zone de faible couverture au portail aval.
- Une section à quelque mètre de la tête amont.
- Une section au milieu du tunnel.

La photographie ci-après montre à titre indicatif une telle chaîne d'électro-nivelles déployée selon une section transversale en tunnel.



Photographie 14 : chaîne d'électro-nivelle en voûte d'un tunnel

Le dispositif 2 est sensiblement plus onéreux à l'installation que le dispositif 1, mais il offre l'avantage de pouvoir suivre et analyser les déformations "en temps réel", de concerner toute la longueur du tunnel, non pas seulement le tronçon en alignement, et de ne pas nécessiter une intervention systématique dans le tunnel pour le cas de déplacements minimes en clef de voûte (repositionnement fréquent des cibles pour le 1^{er} dispositif).

C'est ce dispositif (le 2) qui a été considéré à ce jour dans le devis estimatif du projet.

6. Éléments de dimensionnement

6.1 Introduction

Les critères principaux de dimensionnement du projet sont indiqués aux pièces 3 et 4 du dossier, respectivement "Rapport sur la sécurité" et "Base de projet et convention d'utilisation". Ils ne sont pas répétés ici.

Les contraintes principales considérées pour la conception sont listées au chapitre 2.4 du présent document.

Seuls les éléments suivants de dimensionnement sont exposés ci-après :

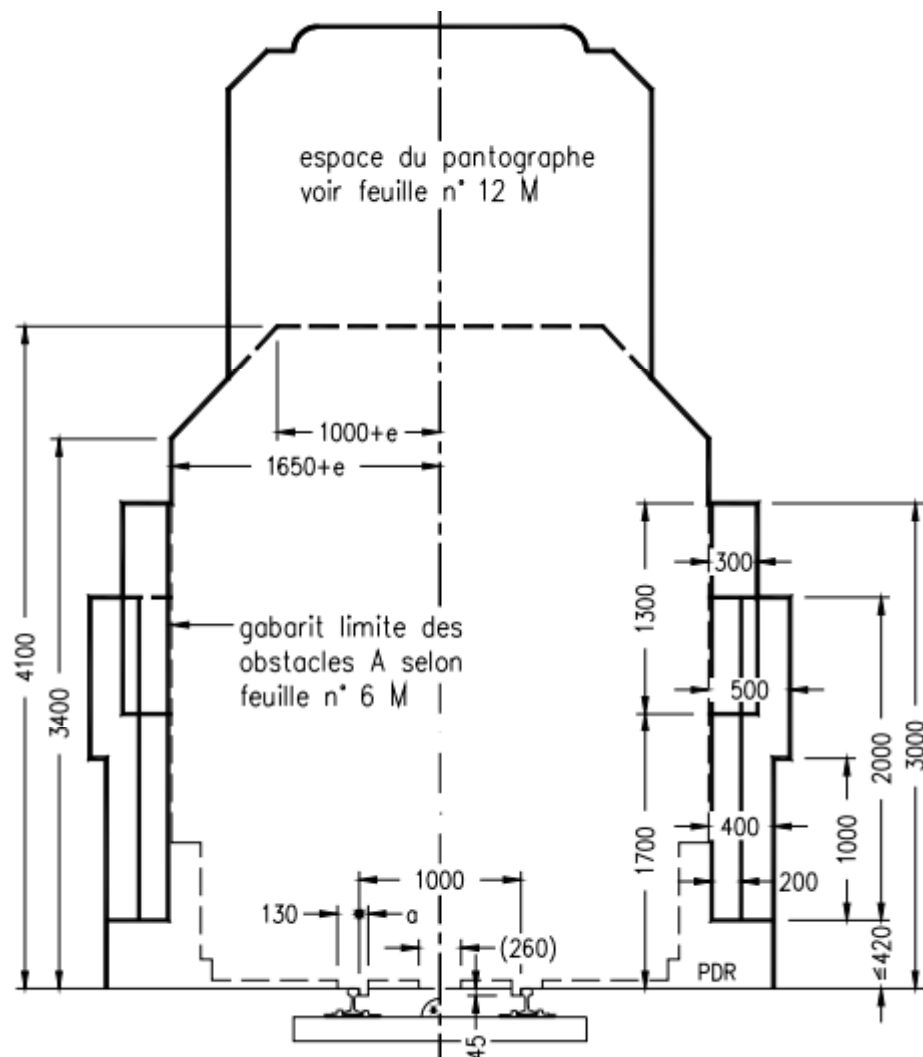
- La justification des gabarits d'espace libre et de hauteur de la caténaire.
- La vérification de la sécurité structurale la voûte du tunnel existant sous la charge de la foreuse des pieux.
- La vérification de la sécurité structurale du nouveau tunnel.
- Le dimensionnement des ancrages provisoires en tête de pieu au portail amont.
- Le concept de mise à terre.
- La prise en compte de contraintes de voisinage.

6.2 Gabarit d'espace libre

Conformément à l'Ordonnance sur les Chemins de Fer (OCF), la rénovation du tunnel doit permettre sa mise au gabarit A. Les données géométriques correspondantes sont indiquées ci-après:

Profil d'espace libre OCF A:

Champ d'application: chemins de fer à adhérence et à crémaillère n'utilisant ni trucs ni bogies transporteurs



e : surlargeur en courbe selon feuille n° 13 M.
a : 60 mm à l'exception des éléments de la superstructure.
() : gabarit limite contigu à celui d'une voie voisine.

Fig. 9 : Profil d'espace libre A selon DE-OCF

En ce qui concerne la sur-largeur en courbe "e", nous considérons, en accord avec la DE-OCF, $e = 25/R$ où R est le rayon de courbure. Dans notre cas, la sur-largeur à prendre en compte sera donc de $25/49 = 0.51$ m.

Outre l'espace libre requis pour le passage des véhicules (gabarit limite), des espaces additionnels s'imposent entre la voie et les installations fixes pour la sécurité des personnes :

- Un chemin latéral pour les services d'entretien et comme chemin de fuite en cas de sinistre (cf. SIA 197/1 chap. 8.5.2) :
Largeur: minimum 1,2 m.

Hauteur libre au-dessus du chemin : 2.2 m.

- Un dégagement normal à la hauteur des fenêtres (protection des voyageurs) DE-OCF – art 18, feuille 15M :
 Largeur : 0.3 m.
 Hauteur : 1.7 m à 3 m au-dessus du PDR.
- Un dégagement normal de service (personnel d'entretien) DE-OCF – art 18, feuille 15M :
 Largeur de 0.4 m pour une hauteur comprise entre 0 m et 1 m.
 Largeur de 0.5 m pour une hauteur comprise entre 1 m et 2 m.

Le chemin latéral prévu est constitué par un trottoir positionné à l'extérieur de la courbe.

En définitive, une **demi-largeur minimale unique de 3 m** a été considérée pour le projet; cette dimension tenant compte des tolérances d'exécution des travaux de génie civil, profils normaux voir pièce 8.5.

6.3 Hauteur de la ligne de contact

La problématique du choix de la hauteur de caténaire porte sur l'espace alloué au pantographe.

Les recommandations de la DE-OCF donnent un espacement type à respecter en général qu'on appellera pour la suite "hauteur de caténaire standard".

Cet espacement peut être réduit dans des cas particuliers, dans les tunnels notamment.

Par ailleurs, pour raison de stabilité de la voûte du tunnel existant pendant la réalisation de travaux à ciel ouvert, il est nécessaire de conserver une distance suffisante entre l'intrados du soutènement actuel et la sous dalle du futur revêtement. Le niveau de la clef de voûte du tunnel existant étant de + 4,47 m environ (distance par rapport au plan de roulement), on retient **+ 5.55 m pour la hauteur sous dalle de couverture du projet** , c'est-à-dire un peu plus de 1 m plus haut que la voûte existante.

En définitive, **la hauteur de ligne de contact** retenue est de **5.2 m** . Voir profils normaux pièce 8.5. Elle permet de conserver le chemin de la Rampe dans son tracé actuel et elle est neutre au plan du foncier.

6.4 Vérification de la sécurité structurale de la voûte du tunnel existant sous la charge de la foreuse des pieux

Les foreuses qui permettent de réaliser des pieux de 1 m de diamètre tels que prévu ici sont relativement lourdes. Elles se situent dans la gamme de poids de 50 t à 80 t. Le déplacement d'un tel engin un peu au-dessus de la voûte maçonnée du tunnel existant engendrera inévitablement des sollicitations non négligeables sur cette voûte.

La vérification de la sécurité structurale du tunnel existant vis-à-vis des surcharges induites par la foreuse a été réalisée. Le calcul correspondant est consigné dans la Pièce 4.1 : Note de calculs.

Il en ressort que la voûte maçonnée existante supportera les surcharges apportées par la foreuse, moyennant les dispositions constructives suivantes :

- Conserver ou créer une couverture minimale de terrain de 2 m entre la clé de voûte et la plateforme de travail.
- Réaliser une dalle de roulement sur cette plateforme de travail afin de répartir le poids de la foreuse de manière la plus homogène possible.
- Positionner la foreuse autant que possible centrée sur l'axe de la voûte.

6.5 Vérification de la sécurité structurale du nouveau tunnel

La vérification de la sécurité structurale du nouveau tunnel a été réalisée. Les calculs correspondant (prédimensionnement des pieux, de la dalle et du mur Nord du portail amont) sont consignés dans la Pièce 4.1 : Note de calculs.

Les résultats principaux sont indiqués ci-après :

- 80 cm d'épaisseur pour la dalle de couverture du tunnel.
- Des pieux en béton armé, forés de 100 cm de diamètre, espacés de 1.80 m, avec une fiche de 3.2 m.
- Des ancrages provisoire (phase construction) de 650 KN tous les 3.6 m appuyés sur une longrine en tête des pieux côté montagne du portail amont.

Des optimisations pourront être étudiées au projet d'exécution.

6.6 Mise à terre de l'ouvrage

6.6.1 Généralités

L' « Ordonnance sur les installations électriques des chemins de fer » exige une séparation de la terre-rail des autres systèmes de prise de terre. Cette exigence est précisée par les « Dispositions d'exécution de l'ordonnance sur les installations électriques des chemins de fer ». D'autre part, les « Directives pour la protection contre la corrosion provoquée par les courants vagabonds d'installations à courant continu » recommandent une séparation des systèmes de terre, afin de réduire la propagation des courants vagabonds, ou au minimum de séparer la prise de terre rail des autres systèmes.

6.6.2 Concept de mise à terre

Le concept de mise à terre du tunnel prévu est explicité sommairement ci-après³.

Il prévoit deux systèmes de terre séparés : la terre-ouvrage et la terre-rail.

³ Il a été établi conjointement par les experts Karine Raussis et Ernst-Peter Bichsel.

La terre-rail est dissociée de la terre-ouvrage par l'intermédiaire du ballast, ainsi que de la fixation isolante des équipements et pièces métalliques, ce qui réduit fortement l'émission de courants vagabonds vers l'infrastructure.

Le principe général de protection contre la corrosion du tunnel des Avants est présenté à l'Annexe 2. Il a pour but d'éviter la propagation des courants vagabonds de manière incontrôlée dans les éléments d'ouvrage et à l'extérieur de l'ouvrage, ainsi que d'éviter la corrosion des armatures nécessaires au maintien de l'ouvrage.

Le tunnel est divisé en 3 éléments de construction indépendants, dans le sens longitudinal de la voie, et séparés galvaniquement.

Le schéma correspondant est donné à l'annexe 2.3.

Au droit des joints de séparation galvanique, les éventuels goujons de reprise d'effort sont isolés galvaniquement au moins d'un côté et/ou les barres d'armature sont munies d'un revêtement isolant type Fluxal.

Les corps métalliques sont interrompus au droit des joints de séparation galvanique ou sont fixés à l'ouvrage à l'aide d'éléments isolants de manière à ne pas court-circuiter ces joints (par exemple la main courante).

En cas de fuite des courants vagabonds vers l'infrastructure de l'ouvrage, des barres collectrices assurent à ces courants un chemin de faible résistance et protègent l'armature de l'ouvrage de la corrosion, toutes les armatures de l'ouvrage (y compris celles des pieux) étant ligaturées à ces barres collectrices.

Les parties conductrices d'installations dans la zone de tension ferroviaire sont mises à la terre-rail et sont isolées à leur point de fixation contre l'ouvrage. Les parties conductrices d'installations qui sont situées hors de la zone de tension ferroviaire sont soit mises à la terre-rail et isolées à leur point de fixation contre l'ouvrage, soit mises à la terre ouvrage et fixées directement à l'ouvrage.

Des pastilles de raccordement et de mesure sont situées de part et d'autre des joints de séparation galvanique et soudées aux barres collectrices.

Pour ce qui concerne la conduite forcée au droit du tunnel rénové, elle sera revêtue par une couche électriquement isolante (protégée par du mortier), afin d'empêcher tout contact électrique avec le béton du tunnel. Cette isolation sera prolongée un peu de part et d'autre du tunnel.

Les détails de mise à terre des équipements seront définis lors du projet d'exécution en respectant la séparation des terres rail et ouvrage et en garantissant des tensions de contact et de pas conformes à la Figure 4 de l'« Ordonnance sur les installations électriques à courant fort ».

6.7 Prise en compte des contraintes de voisinage

La conception générale du projet prend explicitement en compte les contraintes de voisinage en ce qui concerne les dispositions générales suivantes :

- Réalisation en journée des principaux travaux à ciel ouvert.
- Accès piéton maintenu pour toutes les propriétés concernées par les travaux.
- Remise en état des lieux autant que possible à l'identique en fin de travaux.

En outre, la concertation engagée à ce jour avec les propriétaires et résidents les plus directement concernés par le projet a conduit à retenir les dispositions particulières suivantes pour le chantier :

- Remplacement, sur la durée du chantier, des 3 garages démolis par des boxes préfabriqués de capacité au moins égale, les garages étant reconstruits "à l'identique" en fin des travaux.
- Conception d'une passerelle provisoire et de ses accès adaptée pour des personnes à mobilité réduite (chaise roulante). Le gabarit de passage (largeur) considéré sur la passerelle est de 1,8 m.
- Redressement des parois de la fouille pour réduire l'emprise du chantier et pour l'éloigner d'un rucher non déplaçable (rucher construit "en dur").
- Travaux de terrassement et foration des pieux réalisés en dehors des périodes de forte activité des abeilles.

La liste des parcelles et propriétaires et/ou résidents concernés directement par le projet est donnée dans la Pièce 6 : rapport sur les besoins en terrain, ainsi qu'un résumé des démarches correspondantes de concertation engagées à ce jour.

7. Planning de réalisation

Les travaux seront réalisés sur une période de 3 ans qui comprend des interruptions de deux mois en hiver, eu égard aux problématiques de neige et d'exploitation de la piste de luge Sonloup-Les Avants.

Deux versions du planning correspondant sont envisagées, la 1^{ère} étant qualifiée de prudente, la 2^{ème} de volontariste. Elles diffèrent principalement dans la durée des travaux extérieurs, ceux les plus impactant pour les riverains étant de 23 mois environ dans un cas et de 26 mois environ dans l'autre.

De plus, la variante volontariste prévoit un début des travaux intérieurs début mars 2019 et prévoit une fin des travaux à fin novembre 2019. Dans la variante prudente, le début des travaux intérieurs est décalé de deux semaines ce qui conduit à un report de la fin des travaux à mi-décembre 2019. Les deux variantes de planning considèrent un début des travaux au 1^{er} mai 2017.

Les deux plannings sont joints aux annexes 3.1 et 3.2 respectivement.

La déviation de la conduite forcée sur le secteur du tunnel n'est pas explicitement indiquée sur ces plannings pour les raisons suivantes :

- Comme indiqué au chapitre 2.2, Romande Energie S.A. a le projet de réaliser une nouvelle conduite forcée dans le secteur des Avants, projet qui supprimera de facto tout conflit avec le tunnel des Avants (tunnel actuel et tunnel rénové). Si la réalisation des travaux de Romande Energie S.A devait être effective avant mi-2017, seul le démontage de la vieille conduite dans le

périmètre du projet du tunnel serait alors nécessaire. Cette prestation serait réalisée en phase 1 (travaux de jour) du planning général.

- Pour le cas où cette planification (de Romande Energie) devait ne pas être respectée (retard ou abandon du projet), la déviation de la conduite serait alors réalisée dans le cadre des travaux du tunnel sur le linéaire objet du conflit, c'est à dire sur 50 m environ à proximité immédiate du tunnel. La réalisation de ces travaux interviendrait de mai à juillet 2017, c'est-à-dire en 1ère phase des travaux du tunnel (durée nécessaire estimée à 3 mois, y compris les installations de chantier y relatives).

8. Exploitation de la ligne pendant les travaux

L'exploitation de la ligne pendant les travaux est prévue aux conditions générales suivantes en référence aux phases de réalisation définies au chapitre 4 :

- **Exploitation normale ou quasi normale pendant les phases 0 et 1** (mobilisation d'un protecteur à certaines étapes, suivi "en temps réel" du comportement de la voûte existante et dispositif d'alerte automatique en cas de dépassement de seuils prédéfinis de déformation).
- **Pas de circulation des trains pendant les phases 2 et 3** sur l'ensemble du tunnel, autrement dit sur la section de 0,3 km environ entre la gare des Avants et le passage à niveau du chemin des Narcisses (un peu à l'amont du projet). Le mode d'exploitation dégradé de la ligne pendant la période concernée (5 semaines environ) sera précisé au stade du projet définitif.
- **Exploitation quasi normale pendant la phase 4** (réduction de vitesse éventuelle à certaines étapes des travaux).

9. Devis estimatif

Le montant total devisé des travaux s'élève à **10.82 MCHF**, décomposé comme suit:

PRESTATIONS	MONTANT [Frs]
Reconnaitances géotechniques	85 000
Conduite forcée + foncier correspondant + rachat d'eau SIGE pour 15 jours de consommation	419 000
Travaux de génie civil	8 590 000
Travaux de voie ferrée	170 000
Installations de courant de traction	75 000
Installations à basse tension	32 000
Instrumentation voûte tunnel existant	165 000
Etudes et direction des travaux	665 000
Direction de projet MOB	57 000
Géomètre	30 000
Divers (juriste,...)	55 000
Bus de remplacement	250 000
Foncier - indemnisations	225 000
TOTAL	10 818 000

Les devis estimatifs pour les travaux de génie civil et pour la déviation de la conduite forcée sont joints aux annexes 4.1 et 4.2 respectivement.

10. Foncier

10.1 Situation pour la phase travaux

L'occupation provisoire de terrains pendant les travaux concernera une surface d'environ 6 000 m², dont environ 1 100 m² pour les installations de chantier sur la place goudronnée appartenant à la commune de Montreux au portail amont, voir pièce 6, 6.1 et 6.2.

La liste des terrains concernés est donnée ci-après :

- Le terrain bâti cadastré n° 4714.

- Le terrain bâti cadastré n° 4719.
- Le terrain bâti cadastré n° 4720.
- Le terrain bâti cadastré n° 4721
- Le terrain bâti cadastré n° 4735
- Le terrain bâti cadastré n° 4736.
- Le terrain bâti 4743.
- La place goudronnée au portail amont cadastrée 4745.
- Le terrain cadastré n° 12699.
- Le DP 1166

Une occupation temporaire de ces terrains pour la réalisation des travaux sera négociée de gré-à-gré avec les propriétaires concernés. En cas d'absence d'accord, la loi fédérale sur l'expropriation (LEx) s'applique.

Au titre des démolitions / reconstructions, on signale :

- Trois garages sur la parcelle cadastrée n° 4719.
- Un tronçon du chemin de la Pinte.
- Un tronçon du chemin de la Rampe.
- La frange de l'aire de stationnement de véhicule qui jouxte le portail amont du tunnel sur la parcelle cadastrée n° 4745
- La liste des parcelles et des propriétaires et/ou résidents concernés directement par le projet est donnée dans la Pièce 6 : rapport sur le besoin en terrain.

Des emprises souterraines définitives sont prévues au niveau des ancrages réalisés aux portails amont. Ces ancrages seront détendus une fois le tunnel réalisé.

Les parcelles touchées sont les suivantes :

- Le DP1166.
- Le terrain bâti cadastré n°4720.
- Le terrain bâti cadastré n°4721.
- Le terrain bâti cadastré n°4743.

10.2 Situation au stade définitif

La remise en état des lieux est prévue pour l'essentiel à l'identique, sauf

- dans les zones de portail eu égard au caractère architecturé des futurs portails et du fait que le niveau du terrain sera un peu plus haut qu'actuellement au portail amont et sur les 30 premiers mètres du tracé côté aval (relèvement maximum de 1 m).
- dans la zone de la conduite forcée déviée (relèvement localement jusqu'à 1m du niveau du terrain naturel).

Annexes

Annexe 1 : Instrumentation pour le suivi du comportement de la voûte du tunnel existant

1.1 Dispositif envisagé N° 1

1.2 Dispositif envisagé N° 2

Annexe 2 : Concept de mise à terre de l'ouvrage

2.1 Section transversale

2.2 Liaison des poteaux

2.3 Vue en perspective

Annexe 3 : Plannings

3.1 Version 1 : prudent

3.2 Version 2 : volontariste

Annexe 4 : Devis estimatifs

4.1 Devis estimatif GC

4.2 Devis estimatif déviation conduite forcée

Annexe 1

Instrumentation pour le suivi du comportement de la voûte du tunnel existant

1.1 Dispositif envisagé N° 1

1.2 Dispositif envisagé N° 2

[illegible]

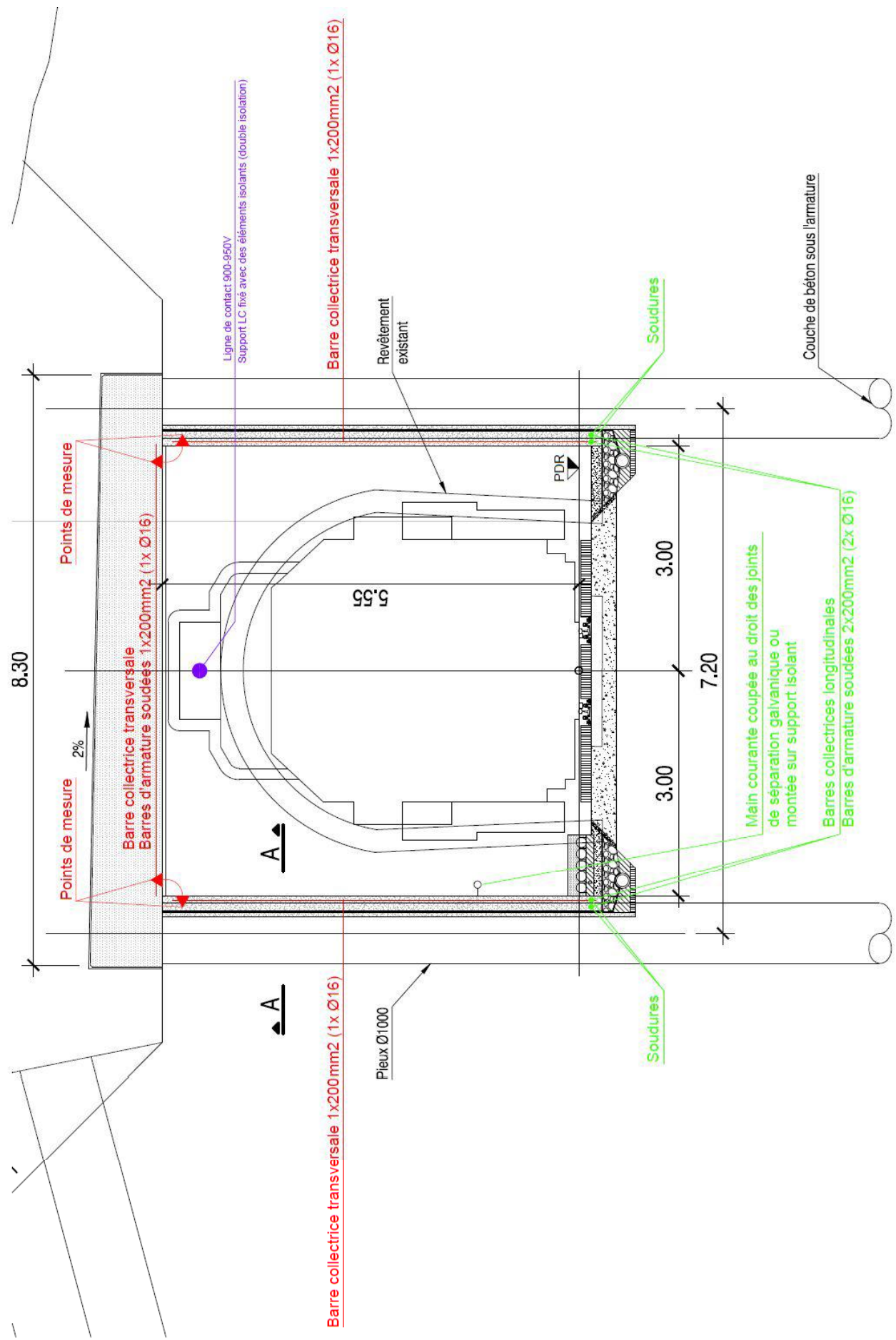
Annexe 2

Concept de mise à terre de l'ouvrage

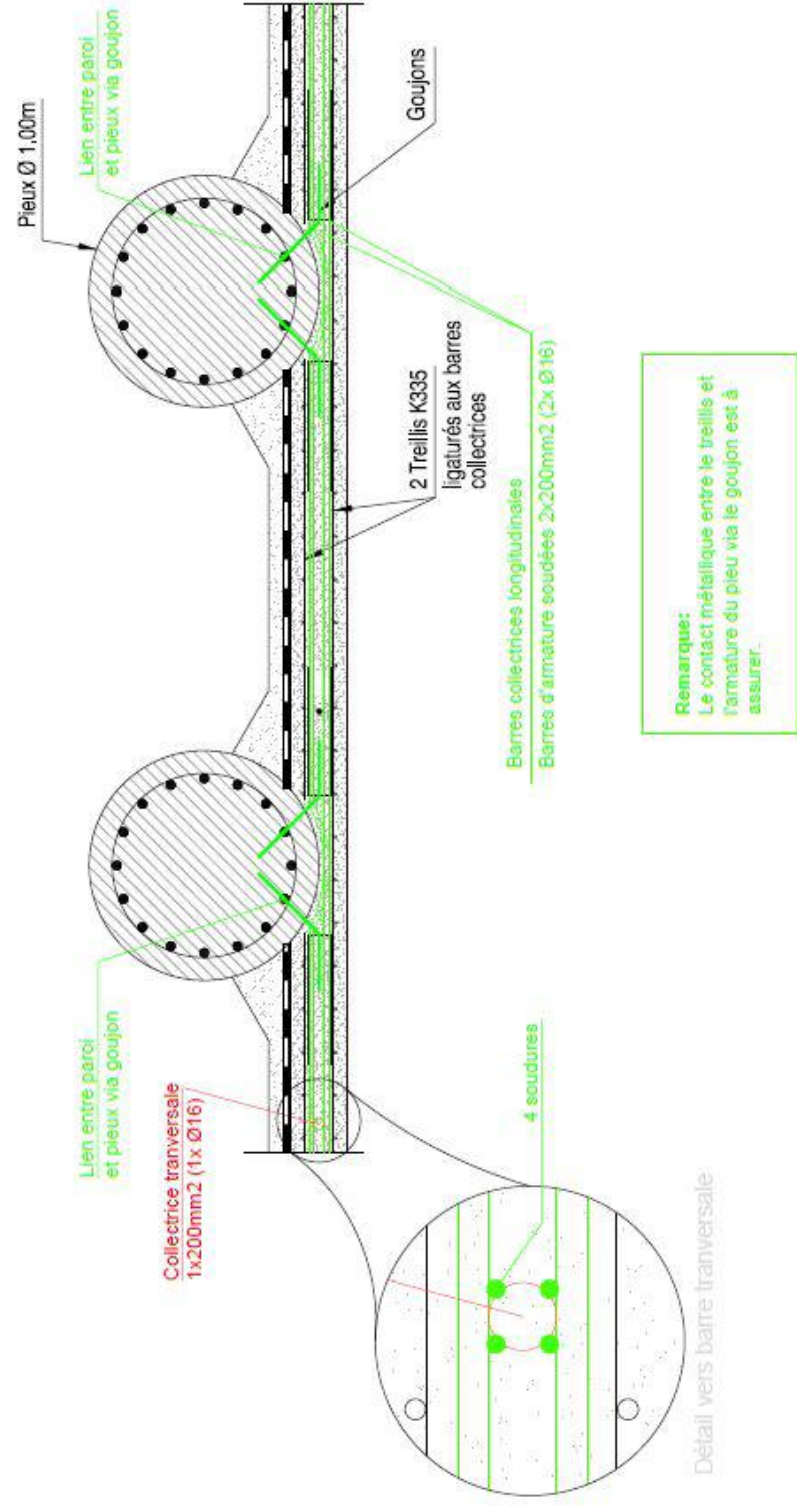
2.1 Section transversale

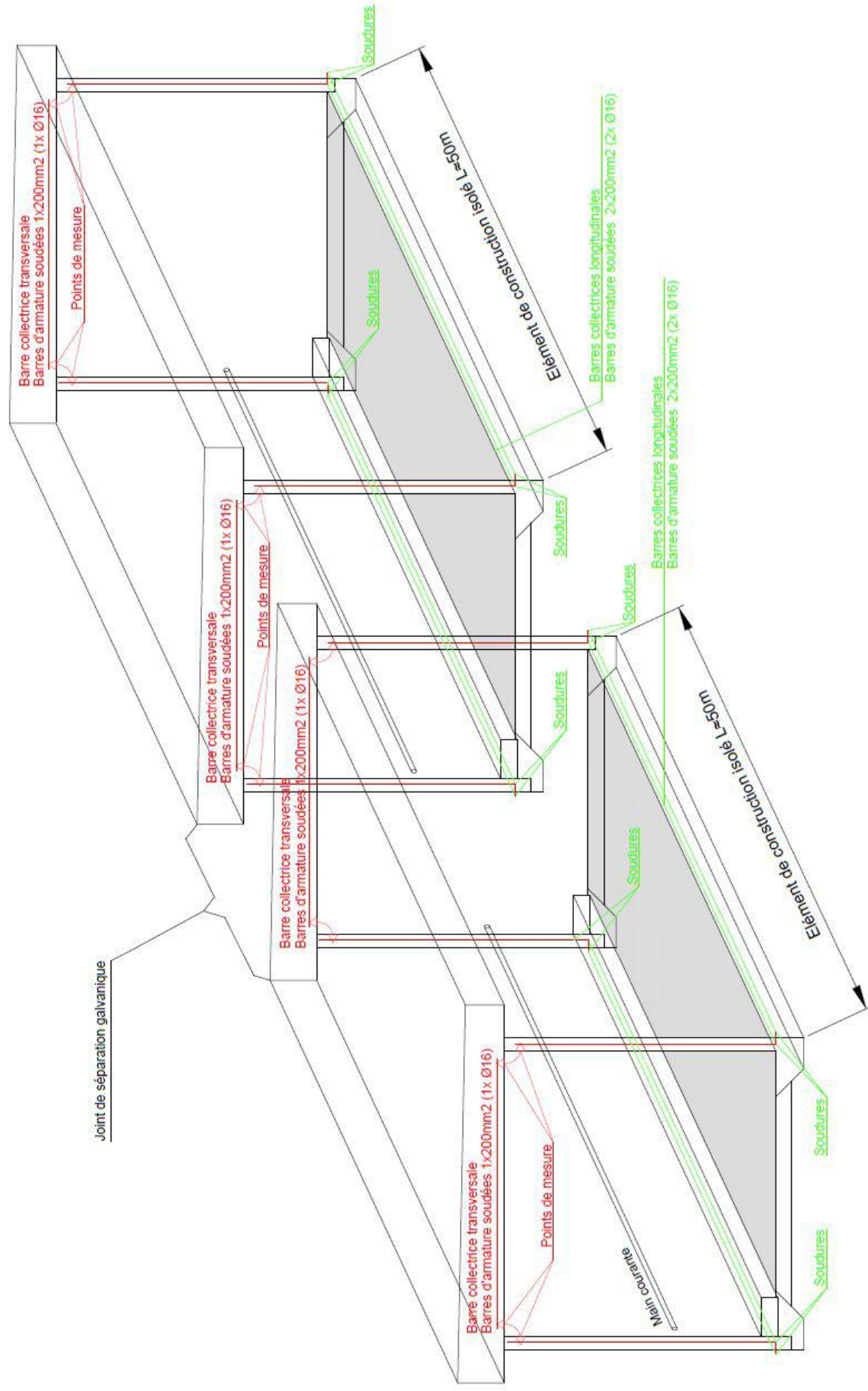
2.2 Liaison des poteaux

2.3 Vue en perspective



COUPE A-A





Annexe 3

Plannings

3.1 Version 1 : prudent

3.2 Version 2 : volontariste

GOLDEN PASS
MONTREUX - OBERLAND BERNOIS - MOB
TUNNEL DES AVANTS

PLANNING GENERAL DES TRAVAUX - Version 1 (prudent)

BG Ingénieurs-conseils SA

Année	2017												2018												2019											
Mois	Mai	Jui	Jul	Aoû	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jui	Jul	Aoû	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jui	Jul	Aoû	Sep	Oct	Nov	Déc				
Semaines																																				
INSTALLATIONS GENERALES																																				
PHASE 1 (travaux de jour)																																				
	PHASE 2 (travaux de jour et de nuit)																																			
PHASE 3 (travaux de jour et de nuit)																																				
PHASE 4 (travaux de nuit)																																				

PLANNING GENERAL DES TRAVAUX - Version 2 (volontariste)

Année		2017												2018												2019											
Mois		Mai	Jui	Jul	Aoû	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jui	Jul	Aoû	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jui	Jul	Aoû	Sep	Oct	Nov	Déc				
Semaines																																					
INSTALLATIONS GENERALES																																					
	Installations générales																																				
PHASE 1 (travaux de jour)	Coupe arbres et arbustes																																				
	Décapage terre végétale et repérage conduites existantes																																				
	Piste de chantier et places de parc provisoire																																				
	Démolitions des 3 garages (extrémité chemin de la Pintle)																																				
	Réalisation passerelle piéton au chemin de la Pintle																																				
	Renforcement et/ou déviation conduites existantes																																				
	Démolition partielle chemin de la Pintle et chemin de la Rampe																																				
	Terrassement (niveau plate forme de travail) + sout.+ dépla.des conduites																																				
	Remblai niveau plate forme de travail + dalle de roulement foreuse																																				
	Réalisation parois de pieux (forage + armatures + bétonnage + mise à terre)																																				
	Terrassement niveau dalle + soutènement des talus																																				
	Préparation assise dalle (recépage pieux, béton maigre, film PVC)																																				
	Ancrages + longrine en tête de pieux secteur portail amont																																				
	Dalle (coffrage, armature, béton et mise à terre)																																				
	Etanchéité de la dalle																																				
	Remblais sur dalle																																				
	Reconstruction des garages																																				
	Reconstruction chemin de la Pintle et chemin de la Rampe																																				
	Terre végétale + remise en état																																				
	PHASE 2 (travaux de jour et de nuit)	Démontage LC et de la voie + Démolition voûte + excavation jusqu'à la plateforme + gunite de sécurité																																			
PHASE 3 (travaux de jour et de nuit)	Reconstruction de l'infrastructure de la voie et préballastage																																				
	Reconstruction de la superstructure de la voie (ballast, traverses et rails) + pose de la ligne de contact																																				
PHASE 4 (travaux de nuit)	Drainage																																				
	Murs de liaison dans le tunnel (étanchéité, treillis, mise à terre + gunite)																																				
	Batterie à câbles (trottoir latéral)																																				
	Main courante + construction de la piste côté lac																																				
	Fondation (galerie semi couverte au portail amont)																																				
	Mur (galerie semi couverte au portail amont)																																				
	Prédalle + parapet (galerie semi couverte au portail amont)																																				
	Etanchéité de la dalle (galerie semi couverte au portail amont)																																				
	Remblayage + barrière de sécurité (galerie semi couverte au portail amont)																																				
	Parapet + mur de fermeture (portail aval)																																				
	Etanchéité de la dalle (portail aval)																																				
	Remblayage + barrière de sécurité (portail aval)																																				

Annexe 4

Devis estimatifs

4.1 Devis estimatif GC

4.2 Devis estimatif déviation de la conduite forcée

MONTREUX - OBERLAND BERNOIS - MOB - TUNNEL DES AVANTS DEVIS ESTIMATIF - GENIE CIVIL (conditions économiques 01-2016)						
POS.	DESIGNATION	UNITE	QUANTITE	P:U Frs	MONTANT Frs	SOUS-TOTAL Frs
1	<u>PHASE 1 - TRAVAUX EXTERIEURS (travaux de jour)</u>					
1.1	Piste de chantier + places de parc (montage+démontage)	m2	450.0	160	71 888	
1.2	Débroussaillage, arrachage arbres et haies	gl	1.0		31 950	
1.3	Déviations de réseaux	gl	1.0		223 650	
1.4	Démolition des garages	p	3.0	7 455	22 365	
	Passerelle pour piéton (montage, ripage et démontage)	gl	1.0		106 500	
1.5	Démolition du HMT (yc transport + taxes)	m2	160.0	75	11 928	
1.6	Décapage de la terre végétale(yc transport et mise en dépôt)	m3	1 000.0	21	21 300	
	Dalle de roulement	m3	190.0	266	50 588	
	Armatures de la dalle de roulement	kg	11 500.0	3	30 619	
	Démolition de la dalle de roulement (yc transport et mise en dépôt)	m3	190.0	128	24 282	
1.7	Préterrassment et déblai (yc transport et taxes)	m3	5 300.0	53	282 225	
1.8	Remblayage (plateforme de travail)	m3	350.0	43	14 910	
1.9	Paroi clouée	m2	810.0	320	258 795	
1.10	Ancrages (yc installation)	p	4.0	5 325	21 300	
1.11	Longrines	m	12.0	959	11 502	
1.12	Pieux (yc installation), diamètre 1 m	m	1 845.0	799	1 473 694	
1.13	Béton maigre de la dalle (yc produit bouches pores)	m2	1 250.0	43	53 250	
1.14	Béton de la dalle	m3	1 100.0	266	292 875	
1.15	Armatures de la dalle	kg	110 000.0	3	292 875	
1.16	Coffrage latéral de la dalle	m2	280.0	96	26 838	
1.17	Etanchéité + couche de protection de la dalle	m2	1 400.0	75	104 370	
1.18	Remblayage	m3	4 500.0	43	191 700	
1.19	Reconstruction des garages	p	3.0	53 250	159 750	
1.20	Construction des routes	gl	1.0		42 600	
1.21	Mise en place de la terre végétale + ensemencement	m3	1 000.0	21	21 300	
1.22	Plantation arbres, haies....	gl	1.0		53 250	
						3 896 303
2	<u>PHASE 2 TRAVAUX SOUTERRAINS (travaux de jour et de nuit)</u>					
2.1	Démolition voûte (18.5 m3/m)	m	141.0	2 556	360 396	
2.2	Excavation des niches	p	8.0	2 663	21 300	
2.3	Excavation radier jusqu'à plateforme et évacuation y c. ballast (admis 50 m de plus que le tunnel)	m3	1 090.0	266	290 213	
2.4	Démolition de la galerie semi couverte (21.5 m3/m)	m	12.0	4 686	56 232	
2.5	Démolition du portail frontal amont en maçonnerie	gl	1.0		10 650	
2.6	Béton projeté de sécurité - voie sèche (ép.5 cm)	m2	1 800.0	53	95 850	
2.7	P.V. sur Pos. 2.1 à 2.6 pour travaux de nuit + engins suppl. + redondance engins chantier	gl	1.0	208 000	208 000	
						1 042 641
3	<u>PHASE 3 TRAVAUX SOUTERRAINS (travaux de jour et de nuit)</u>					
3.1	Grave pour l'infrastructure de la voie	m3	325.0	107	34 613	
3.2	Couche de béton bitumineuse pour l'infrastructure de la voie	t	68.0	426	28 968	
3.3	Ballast pour la superstructure de la voie	m3	325.0	128	41 535	
3.4	Eléments préfa pour batterie de tubes	m	191.0	426	81 366	
3.5	Gravier pour piste	m3	34.0	107	3 621	
3.6	P.V. sur Pos. 3.1 à 3.5 pour travaux de nuit+engins suppl. + redondance engins de chantier + majoration matériaux	gl	1.0	47 000	47 000	
						237 103
4	<u>PHASE 4 - TRAVAUX SOUTERRAINS (travaux de nuit)</u>					
4.1	Drainage longitudinal de pied	m	285.0	426	121 410	
4.2	Chambres de curage	p	8.0	1 065	8 520	
4.3	Couche drainante le long des murs de liaison (Enkadrain)	m2	1 800.0	43	76 680	
4.4	Couche d'étanchéité le long des murs de liaison (Lés LBP)	m2	1 800.0	53	95 850	
4.5	Goujons de liaison	p	7 160.0	32	228 762	
4.6	Armatures dans murs de liaison	kg	10 000.0	3	25 560	
4.7	Treillis K 335 dans murs de liaison (2 couches)	m2	3 500.0	21	74 550	
4.8	Béton projeté ép 20 cm - voie sèche	m2	1 750.0	229	400 706	
4.9	Excavation de la fondation de la galerie semi couverte	m3	155.0	64	9 905	
4.10	Béton maigre sous la fondation de la galerie semi couverte	m2	60.0	43	2 556	
4.11	Béton de la fondation de la galerie semi couverte	m3	60.0	447	26 838	
4.12	Béton du mur de la galerie semi couverte	m3	65.0	426	27 690	
4.13	Fourniture et pose des prédalles de la galerie semi couverte	m2	75.0	266	19 969	
4.14	Béton de la dalle de la galerie semi couverte	m3	40.0	394	15 762	
4.15	Béton des parapets et des acrotères des 2 portails	m3	30.0	575	17 253	
4.16	Coffrage de la fondation de la galerie semi couverte	m2	30.0	96	2 876	
4.17	Coffrage du mur de la galerie semi couverte	m2	150.0	133	19 969	
4.18	Coffrage latéral de la dalle de la galerie semi couverte	m2	10.0	149	1 491	
4.19	Coffrage des parapets et des acrotères des 2 portails	m2	140.0	234	32 802	
4.20	Armatures (galerie semi couverte + parapets + acrotères)	kg	19 500.0	3	49 842	
4.21	Etanchéité + couche de protection de la dalle (gal. semi couverte)	m2	110.0	75	8 201	
4.22	Batterie à câbles	m	153.0	533	81 473	
4.23	Remblayage de la galerie semi couverte	m3	80.0	53	4 260	
4.24	Béton du mur frontal du portail aval	m3	5.0	426	2 130	
4.25	Coffrages du mur frontal portail aval	m2	20.0	133	2 663	
4.26	Armature du mur frontal du portail aval	kg	500.0	3	1 278	
4.27	Enrochements du portail aval	t	20.0	213	4 260	
4.29	Barrières de sécurité des portails	m	41.0	224	9 170	
4.28	Plus value pour traitement architectural:					
4.28.1	- Portail aval	gl	1.0		27 800	
4.28.2	- Portail amont	gl	1.0		66 500	
4.29	Main courante	gl	1.0	25 000	25 000	
						1 491 723
5	<u>INSTALLATIONS GENERALES DE CHANTIER</u>	%	12.0			800 132
6	<u>DIVERS ET IMPREVUS</u>	%	15.0			1 120 185
	<u>TOTAL ARRONDI HT</u>					8 590 000

MONTREUX - OBERLAND BERNOIS - MOB - TUNNEL DES AVANTS
DEVIS ESTIMATIF - DEVIATION CONDUITE FORCEE (conditions économiques 01-2016)

POS.	DESIGNATION	UNITE	QUANTITE	P:U	MONTANT
				Frs	Frs
	<u>Génie civil</u>				
1	Décapage de la terre végétale(yc transport et mise en dépôt)	m3	90.0	30	2700
2	Terrassement de la fouille à parois inclinée (yc transport et mise en dépôt)	m3	170.0	40	6800
3	Terrassement de la fouille en tranchée (yc étayage, transport et mise en dépôt)	m3	155.0	145	22475
4	Terrassement des plots (yc étayage, transport et mise en dépôt)	m3	195.0	130	25350
5	Béton d'enrobage de la conduite forcée	m3	8.0	360	2880
6	Coffrage de la poutre d'enrobage	m2	15.0	65	975
7	Armatures du béton d'enrobage de la conduite forcée	kg	1 000.0	4	4000
8	Béton des plots	m3	127.0	440	55880
9	Remblayage	m3	350.0	30	10500
10	Mise en place de la terre végétale + ensemencement	m3	90.0	25	2250
	Sous total GC				133 810
11	INSTALLATIONS GENERALES DE CHANTIER	%	8.0		10 705
12	DIVERS ET IMPREVUS	%	10.0		14 451
	<u>Chaudronnerie</u>				85 000
	<u>Rachat d'eau SIGE + pompage depuis lac</u>				135 000
	<u>Foncier</u>				40 000
	<u>TOTAL ARRONDI HT</u>				419 000