

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 7.1**

## **RAPPORT COMPLEMENTAIRE DE L'EXPERT**


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

G. Oberson .....

P. Billieux .....

L'expert : M. Gencer .....

Date : Montreux, le 27.01.2016

KM	-		
ECHELLE	-	. TUNNEL DES AVANTS . Assainissement du tunnel	
DESS. / CONT.			
DATE	27.01.2016		
FORMAT	A4		
		MODIFICATIONS	DESS.
		-	-
		-	-
		-	-
Projet No. : 5353		REPLACE PLAN NO: -	-

**GOLDENPASS SERVICES**  
**Compagnie du Chemin de Fer**  
**Montreux – Oberland Bernois (MOB)**

**DOSSIER PAP**  
**TUNNEL DES AVANTS**

**Expertise de projet**  
**Addendum au rapport du 23 juillet 2015**

---

Av. des Boveresses 44  
**1010 Lausanne**  
Tél. +41 21 654 44 88  
Fax +41 21 654 44 99  
[geotechnique@karakas-francais.ch](mailto:geotechnique@karakas-francais.ch)

---

Chemin des Poteaux 10  
**1213 Petit-Lancy**  
Tél.+41 22 301 52 61  
Fax +41 22 301 52 62

---

Av. de la Gare 19  
**1920 Martigny**  
Tél. +41 27 723 20 11  
Fax +41 27 723 21 11

**INFORMATIONS SUR LE DOCUMENT**

<b>Auteurs :</b>	Cyrus Behnam, ingénieur civil <a href="mailto:Cyrus.behnam@karakas-francais.ch">Cyrus.behnam@karakas-francais.ch</a> Mustaga Gencer, ingénieur civil, Dr. ès Sciences Techniques EPFL <a href="mailto:Mustafa.gencer@karakas-francais.ch">Mustafa.gencer@karakas-francais.ch</a>
<b>Destinataires :</b>	GoldenPass Services, M. Calcoen
<b>Phase :</b>	-
<b>Statut :</b>	Définitif
<b>Réf. interne :</b>	M:\5353-suite\Correspondance\Addendum
<b>Lieu et date :</b>	Lausanne, le 27 janvier 2016

**ANNEXES**

<b>Annexes :</b>		
------------------	--	--

**SUIVI DES VERSIONS**

<b>Ind.</b>	<b>Date</b>	<b>Modifications</b>	<b>Contrôle</b>
-	23.07.2015	Première diffusion	MG
	26.01.2016	Addendum au rapport	MG

## TABLE DES MATIERES

I	INTRODUCTION .....	1
II	DOCUMENTS DE BASE.....	1
III	MODIFICATIONS DU PROJET .....	1
IV	TRAVAUX EXECUTES PAR L'EXPERT .....	1
V	VÉRIFICATION DES CALCULS DE DIMENSIONNEMENT DES OUVRAGES .....	2
V.1	PRÉSENTATION DES CALCULS ET HYPOTHÈSES ADMISES .....	2
V.2	DIMENSIONNEMENT DE LA TRÉMIE – PAROIS BERLINOISES ET DALLE DE COUVERTURE.....	2
V.3	PROFIL AU PORTAIL AMONT AVEC MUR DE SOUTÈNEMENT .....	3
VI	VÉRIFICATION DES PROFILS EN TRAVERS.....	3
VII	CONCLUSIONS.....	4

## I INTRODUCTION

Le présent addendum fait suite au mandat d'expertise complémentaire confié à notre bureau par la Compagnie du Chemin de Fer Montreux – Oberland Bernois (MOB).

Il s'agit d'une expertise exigée par l'OFT selon la procédure PAP pour le projet d'assainissement et de mise au gabarit du tunnel des Avants de la ligne Montreux-Zweisimmen. En effet, l'OFT a demandé des modifications suite au premier dossier de projet établi en juillet 2015 par le bureau mandataire, BG Ingénieurs Conseils SA (BG), dans le cadre de la procédure. Ces modifications ont nécessité des analyses et des calculs complémentaires vérifiés par l'expert qui font l'objet du présent rapport.

## II DOCUMENTS DE BASE

Dans le cadre de notre mandat, les documents suivants nous ont été remis par le bureau BG :

- Pièce 4.1 : Nouvelle version de la Note de calculs, datée du 29 janvier 2016
- Pièce 8.4 : Nouvelle version des Profils en travers du projet, datée du 15.01.2016

## III MODIFICATIONS DU PROJET

Le projet de base ne prévoit pas d'assainissement de l'infrastructure ferroviaire existante (lit de ballast, couche de fondation), mais prévoit la pose de nouveaux drains à l'extérieur de la voie unique (le long du futur tunnel).

Toutefois, dans le cadre de la procédure PAP, l'OFT a estimé que la profondeur prévue pour ces drains n'était pas suffisante pour assurer une bonne évacuation des eaux. Pour pallier ce problème, il a été décidé d'approfondir les nouveaux drains et de profiter de ces travaux de terrassement pour assainir l'infrastructure ferroviaire.

Il est ainsi prévu d'exécuter des sur-profondeurs d'environ 80 cm sous le plan de roulement (PDR) de la voie actuelle (niveau inchangé), ce qui entraînera des modifications au niveau des pieux des parois berlinoises prévues de part et d'autre du tunnel existant.

En l'occurrence, comme la longueur des pieux ne changera pas (11 m), la fiche sera raccourci de 80 cm passant de 4 m à 3.2 m et la hauteur visible des parois augmentera de 7 m à 7.8 m. Ces modifications influenceront le dimensionnement des pieux, de la dalle de couverture ainsi que du mur de soutènement au droit du portail amont.

## IV TRAVAUX EXECUTES PAR L'EXPERT

Le travail de l'expert décrit dans ce rapport a été exécuté selon la directive Dir. OCI-CF de l'OFT. Il s'agit de réaliser une double vérification de la sécurité structurale (calculs) des éléments qui ont été modifiés ainsi que ceux affectés par ces modifications. Le travail de l'expert est basé sur les documents mis à disposition par le maître d'ouvrage et ses mandataires.

Notre travail d'analyse consiste à vérifier les points suivants en détail :

- Les calculs de dimensionnement des ouvrages: vérifier les hypothèses adoptées et la méthodologie suivie dans la nouvelle note de calcul (pièce 4.1)
- Plans : vérifier les détails importants du point de vue de la sécurité et l'exploitation de l'ouvrage définitif sur la base des nouveaux profils en travers (pièce 8.4)

Les résultats de notre examen sont décrits au chapitre suivant.

## V VÉRIFICATION DES CALCULS DE DIMENSIONNEMENT DES OUVRAGES

Le projet consiste à remplacer le tunnel en voûte maçonnée de section fer à cheval par une nouvelle structure en trémie.

Cet ouvrage est constitué de deux parois berlinoises avec des pieux forés de 100 cm de diamètre. Les pieux seront réalisés à partir d'une plateforme créée par préterrassement. Une dalle de couverture d'épaisseur 0.90 m est ensuite réalisée sur les pieux. Il s'agit d'une structure cadre très rigide pour reprendre les poussées de terre latérales et le poids des remblais de comblement ultérieur sur la dalle.

### V.1 PRÉSENTATION DES CALCULS ET HYPOTHÈSES ADMISES

Les calculs sont présentés conformément aux étapes successives d'exécution. Les paramètres géotechniques utilisés sont identiques à ceux considérés dans la note de calcul précédente qui a été approuvée par l'expert.

### V.2 DIMENSIONNEMENT DE LA TRÉMIE – PAROIS BERLINOISES ET DALLE DE COUVERTURE

Le cas de charge pris en compte pour cet ouvrage correspond au stade final des travaux à savoir démolition du tunnel existant et remblayage au-dessus de la dalle.

Les auteurs du projet ont effectués des calculs de dimensionnement pour les parois berlinoises à l'aide du logiciel RIDO comme pour la note de calcul précédente. Les hypothèses utilisées sont toujours valables.

Les calculs ont été effectués aux états limites de service (ELS) et ultimes (ELU). Pour le calcul ELU, deux vérifications ont été faites : l'une avec des facteurs partiels sur les coefficients de poussée des terres ( $K_a$ ,  $K_p$ ), l'autre avec des facteurs partiels sur les propriétés géomécaniques du sol (cohésion  $c'$ , angle de frottement  $\phi'$ ).

Nous avons effectué des calculs comparatifs en ELS avec le logiciel RIDO pour vérifier le comportement des parois berlinoises avec fiche réduite. Nous avons modifié quelque peu la simulation des étapes d'excavation afin de vérifier leur influence sur le dimensionnement. Les résultats que nous avons obtenus sont du même ordre de grandeur que ceux présentés dans la note de calcul. Nous obtenons, notamment, un rapport de butée mobilisable sur butée mobilisée de 0.54 et 0.29 pour les parois 1 et 2 respectivement, comparables aux valeurs présentées dans la note de calcul (0.52 et 0.27) et largement suffisantes selon les exigences des normes SIA. Les deux états limites ultimes ont également été vérifiés à l'aide du logiciel RIDO. Les résultats sont à nouveau comparables aux valeurs présentées dans la note de calcul et permettent de valider le dimensionnement retenu. Finalement, la répartition des poussées et butées de terres agissant sur les pieux et obtenue lors de notre vérification est semblable à celle présentée dans la note de calcul.

Cette répartition est ensuite introduite comme charges extérieures dans un modèle de calcul de structure cadre qui permet de modéliser correctement la statique de l'ouvrage.

Les calculs de vérification du dimensionnement de ce cadre sont ensuite effectués à l'aide de la méthode des éléments finis pour vérifier la sécurité structurale de la trémie conformément aux normes SIA.

Finalement, les auteurs du projet ont réalisé un dimensionnement des armatures au niveau des pieux et de la dalle. Une vérification à l'état de limite ultime (ELU) a montré que les armatures prévues par les auteurs du projet sont conformes aux normes.

### V.3 PROFIL AU PORTAIL AMONT AVEC MUR DE SOUTÈNEMENT

Ce profil au droit du portail amont du tunnel représente une particularité du fait qu'il est composé côté amont d'une paroi berlinoise et à l'aval d'un mur de soutènement traditionnel avec semelle. La dalle supérieure est intégrée aux parois de pieux et au mur de soutènement pour compléter l'ouvrage.

Pour rappel, le dimensionnement de cet ouvrage a été effectué par les auteurs du projet en quatre étapes :

1. Calcul des efforts dans le pieu de la berlinoise au moyen du programme RIDO.
2. Extrapolation de ces efforts dans un modèle cadre pieu-dalle-mur de soutènement sur le programme ZSOIL pour déterminer les moments d'encastrement en tête du mur de soutènement et en tête du pieu de la paroi berlinoise.
3. Itérations entre les programmes RIDO et ZSOIL jusqu'à ce que les efforts soient compatibles dans les deux programmes.
4. Vérification de la stabilité du mur de soutènement au moyen du programme informatique LARIX.

Nous avons effectué des calculs comparatifs à l'aide du logiciel RIDO en ELS (état limite de service) pour vérifier le comportement de la paroi berlinoise avec fiche réduite. Comme les moments et efforts tranchants sont plus faibles au droit des pieux du portail amont qu'au droit des pieux calculés au chapitre précédent, une vérification de ces pieux en ELU n'était pas nécessaire. Ainsi, les efforts obtenus en ELS ont été majorés par 1.35 et utilisés dans le modèle cadre et le programme LARIX uniquement pour dimensionner le mur de soutènement.

Les résultats que nous avons obtenus sont du même ordre de grandeur que ceux présentés dans la note de calcul et permettent de valider le dimensionnement retenu. Nous obtenons, notamment, un moment de 280 kNm/m' en tête de pieux par le calcul RIDO, à comparer au 320 kNm/m' présentés dans la note de calcul. La répartition des poussées et butées de terre est également semblable à celle considérée dans la note de calcul.

Le dimensionnement du mur de soutènement est correct, puisque toutes les conditions de stabilité sont vérifiées par rapport aux états limites (renversement, glissement, poinçonnement) ce qui conduit à une semelle de fondation de dimensions relativement importantes pour ce mur. Nous avons effectué ces vérifications de stabilité au moyen du programme LARIX et nous obtenons des facteurs de sécurité similaires, à savoir 2.49, 1.08 et 2.15 pour la sécurité au renversement, glissement et poinçonnement respectivement ; la note de calcul indique comme facteurs 2.18, 1.17 et 3.05 pour ces trois vérifications.

## VI VÉRIFICATION DES PROFILS EN TRAVERS

Les nouveaux profils en travers tiennent compte des modifications de projet décrites en sus. Pour rappel, le profil n° 20 (PM 65.00) est le plus critique pour le dimensionnement des parois berlinoises et le profil n° 58 (PM 147.00) doit être considéré pour le dimensionnement du portail amont.

Les calculs effectués par le mandataire au droit de l'ouvrage fini (nouveau tunnel) dépendent de l'épaisseur des remblais posés sur la dalle de couverture. Lors de la phase d'exécution, il est donc impératif que cette épaisseur soit conforme ou tout au moins inférieure à celle considérée dans les calculs. Le suivi de la phase de remblayage par un ingénieur est donc nécessaire.

## VII CONCLUSIONS

Le présent rapport d'expertise est établi dans le cadre de la procédure PAP sur la base des documents de projet cités au chapitre II et suite aux modifications de projet demandées par l'OFT. Il s'agit d'un raccourcissement de la fiche des pieux des parois berlinoises et une augmentation de leur hauteur visible. En l'occurrence, la fiche a été réduite de 80 cm et la hauteur visible augmentée d'autant, afin de permettre l'exécution de sur-profondeur pour la pose des nouveaux drains.

La nouvelle version de la note de calcul adaptant ces modifications présente très clairement les dimensionnements et les vérifications effectuées en fonction du type d'ouvrage et les phases d'exécution. Les phases critiques sont analysées à l'aide de la méthode de calcul par éléments finis qui permet aussi d'estimer les déformations afin de vérifier l'aptitude au service des ouvrages.

Le concept du projet et les phasages des travaux restent bien adaptés aux conditions locales de l'ouvrage à construire.

Nous avons contrôlé et vérifié le dimensionnement des ouvrages affectés par les modifications décrites. Ces vérifications ont été effectuées par des calculs comparatifs en parallèle. Suite à son examen, l'expert valide le projet modifié avec les plans.

KARAKAS & FRANCAIS SA



L'expert mandaté  
M. Gencer