

N09 Montreux - Roche, assainissement de murs de soutènement

1 Introduction

1.1 Le mandat

Ce projet prévoit l'assainissement de 14 murs de soutènement à semelle entre le km 28.207 et le km 38.780 (région de Montreux) de l'autoroute N09 dans le Canton Vaud. Les murs de soutènement ont été construits dans les années 70 et présentent un risque de corrosion de l'armature de flexion.

1.2 Participants au projet

En tant que Maître d'ouvrage, l'OFROU (filiale 1 d'Estavayer-le-Lac) s'est appuyé sur les bureaux CSD Ingénieurs SA, Techdata SA et BG Ingénieurs Conseils SA pour le BAMO et la DGT. L'auteur de projet et la DLT ont été confiés au bureau AF TOSCANO SA, les rapports géotechniques fournis par Karakas & Français SA et AF TOSCANO SA. Le concept de la mise à la terre et la protection contre le courant vagabond ont été établis par Rausis Consulting et rs ingénieurs SA. L'entreprise active sur le chantier est le Consortium PAMF constitué de Martin & Co SA, Perrin Frères SA, ADV Construction SA et Forasol SA.

1.3 Les chiffres de l'objet

Pour mesurer l'ampleur de l'intervention, voici, les chiffres clés du projet :

Nombre de murs de soutènement :	14	Ancrages actifs permanents :	10'500 m
Longueur totale :	1'200 m	Coûts de construction :	CHF 15'500'000
Surface totale :	6'810 m ²	Projet :	2014 – 2017
Hydrodémolition :	250 m ³	Exécution :	2016 - 2018
Béton :	4'000 m ³		

2 Bases du projet

2.1 Contexte

Comme mentionné dans le rapport [1], les investigations, les analyses et les études réalisées dans le cadre des travaux d'assainissement sur la N12, la N9 et la N5 depuis 2006 par l'OFROU sur les ouvrages de soutènement non ancrés en béton armé avec semelle ont démontré que ces ouvrages présentent un risque important d'être en mauvais état, voire dans un état alarmant, sans que cela puisse être décelé par une inspection visuelle.

Les dégâts constatés présentent une corrosion avec perte de section de l'armature de flexion en pied de parement.



Image 1 : Corrosion de l'armature

La corrosion observée n'est pas due aux chlorures, ni à la carbonatation du béton, ni à une agression chimique liée à la composition du sol mais à un béton d'enrobage très poreux n'assurant pas un enrobage alcalin (protecteur) intégral des barres. Ce type de corrosion se caractérise par une dissolution du produit de corrosion sans provoquer d'éclatement du béton d'enrobage (absence d'un phénomène d'expansion). De plus, selon les analyses du bureau Dr. Vollenweider [2] la rupture de ces ouvrages doit être considérée comme étant fragile, avec possibilité de réaction en chaîne. Au vu des constatations et conclusions de ces diverses études, les ouvrages non ancrés avec semelle sont donc considérés à risque.

La difficulté d'évaluer ce danger par la mise en évidence d'un état critique implique que, pour lever un risque de rup-

ture fragile, des travaux anticipés ont été réalisés, et sont en cours de réalisation par l'OFROU sur certains ouvrages de la filiale OFROU F1.

Un seul rapport d'investigation (réf. [3]) était disponible pour réaliser le mandat.

Dans ce rapport, la vérification de l'armature de flexion au pied du mur a effectivement révélé un processus de corrosion avancé, avec une perte de section allant jusqu'à 7 mm pour une barre d'armature de 10 mm de diamètre.

Pour les 13 autres murs de soutènement et sur décision de l'OFROU, aucune autre investigation spécifique n'a été effectuée. Nous sommes donc partis du principe que l'armature de flexion au pied du mur est corrodée pour tous les murs, et n'est donc pas prise en compte dans les calculs.

3 Concept d'intervention

3.1 Etude des variantes

Dans la phase Concept d'intervention (MK), une étude de variantes a été établie pour chaque mur. Le processus utilisé est représenté dans le tableau 1.



Tableau 1 : Processus étude des variantes

Sur la base de l'analyse des divers critères, nous avons défini 3 types d'intervention :

- Transformation en mur poids depuis l'arrière
- Transformation en mur poids depuis la face avant
- Renforcement par la mise en place d'ancrage actifs

Dans la mesure du possible, nous avons transformé le mur existant en mur poids. Cette solution garantit la pérennité de l'ouvrage (pas de risque de corrosion de l'armature, ni d'ancrage actif permanent) mais ne peut pas être appliquée pour des questions techniques ou de fonctionnalité aux 14 murs. Le gabarit autoroutier ne peut pas toujours être garanti avec un mur poids depuis la face avant, ceci à cause de son interaction avec l'ouvrage voisin. Une fouille derrière le mur existant (surtout pour les murs les plus hauts) ne peut pas toujours être exécutée ou serait trop coûteuse.

Si la transformation en mur poids n'est pas possible, la meilleure solution est de renforcer le mur existant par la mise en place d'ancrages actifs. Le principal défaut de cette solution reste cependant l'entretien.

4 Projet d'assainissement

4.1 Transformation en mur poids depuis l'arrière

Lorsque la transformation en mur poids depuis la face avant est impossible pour des questions de gabarit autoroutier, il est choisi de transformer le mur à semelle en mur poids depuis l'arrière. Une coupe type pour cette transformation est représentée dans l'image ci-dessous.

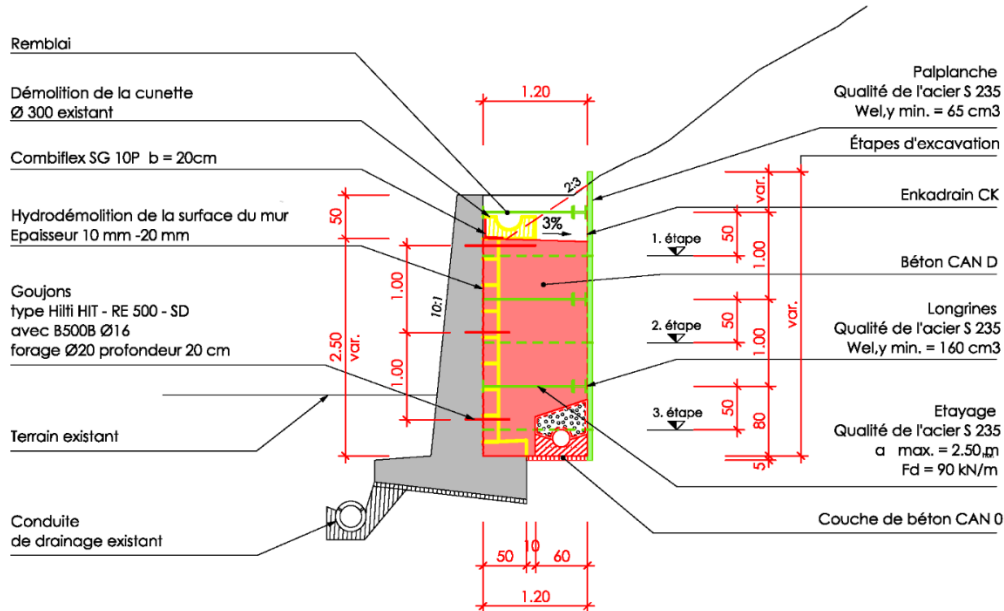


Image 2 : Coupe type transformation en mur poids depuis l'arrière

Après avoir exécuté la fouille par étape avec mise en place d'un étayage et de palplanches, le nouveau drainage a été installé, la surface du mur existant a été hydrodémolée et les goujons ont été fixés sur toute la surface. A ce moment, le mur poids a été bétonné.

Pour cette variante les coûts de construction sont d'environ 3'000 CHF/m².

4.2 Transformation en mur poids depuis la face avant

Lorsqu'il est possible de transformer le mur à semelle en mur poids depuis la face avant, la coupe type de cette intervention est représentée dans l'image ci-dessous.

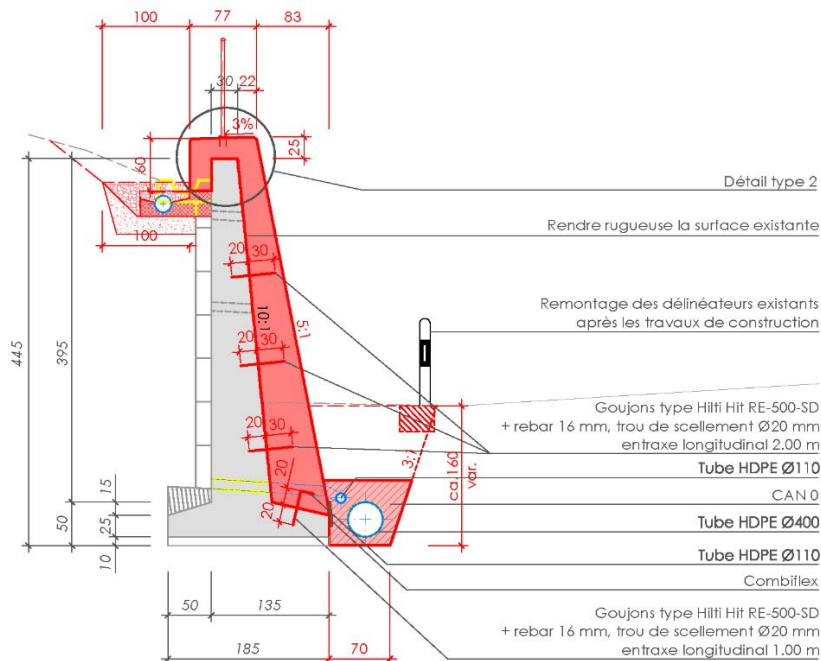


Image 3 : Coupe type transformation en mur poids depuis la face avant

Après la réalisation d'une fouille au pied du mur, le nouveau drainage a été posé, la surface du mur existante hydrodémolie et des goujons fixés sur toute la surface, puis le mur poids bétonné. Aucun joint de dilatation n'a été fait pour un mur d'une longueur d'env. 120 m. Afin d'éviter des fissures de retrait, une armature minimale a été posée (exigence élevée courbe C).

Les joints de dilatation du mur existant ont été imperméabilisés avec du PBD, pour éviter des venues d'eau. Pour cette variante, les coûts de construction sont d'environ 1'500 CHF/m².

4.3 Renforcement par la mise en place d'ancrage actifs

4.3.1 Général

Huit murs de soutènement ont été assainis grâce à la réalisation d'un nouveau parement en béton armé avec des ancrages actifs permanents. Les coupes types sont représentées dans les images ci-dessous.

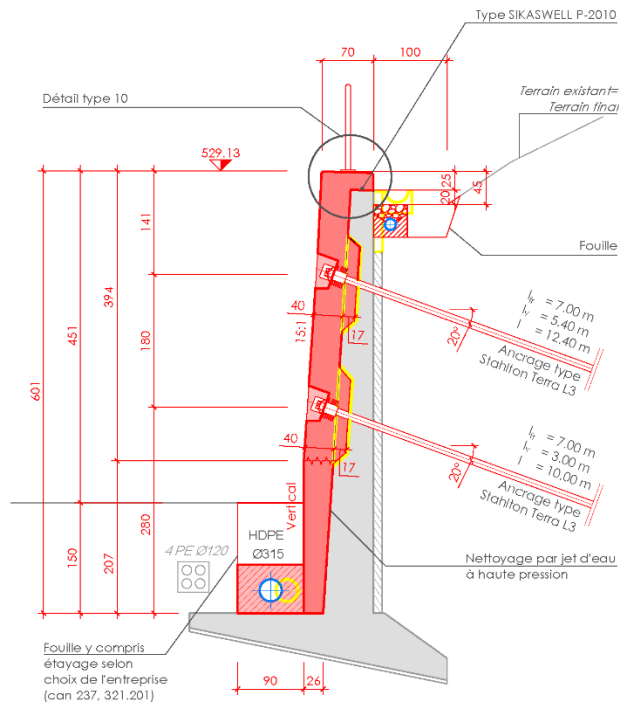


Image 4 : Coupe type renforcement par la mise en place d'ancrages actifs

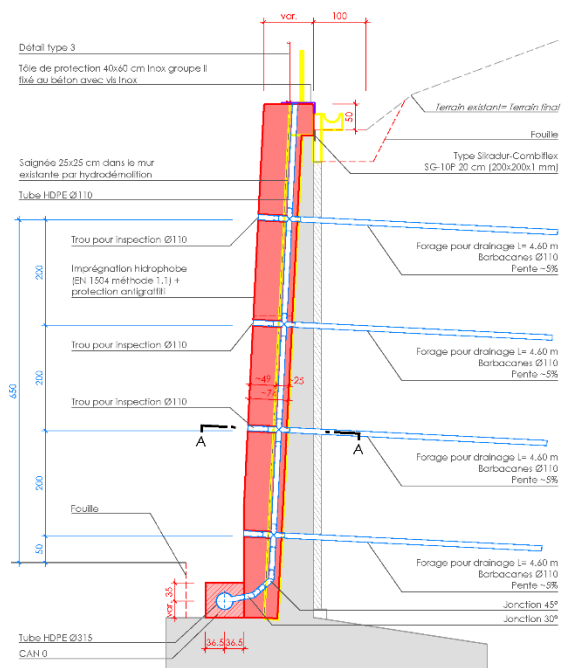


Image 5 : Coupe type nouveau système de drainage

Tous les ancrages actifs sont protégés contre la corrosion (PL3). Pour chaque ancrage, le contrôle de la protection contre la corrosion s'effectue par le biais de mesures de résistance électrique selon la norme SIA 267.

Avec l'accord du Maître d'ouvrage, il a été décidé qu'aucun joint de dilatation ne serait fait et que, pour éviter des fissures de retrait, une armature minimale serait posée (exigence élevée courbe C).

Les joints de dilatation du mur existant ont été imperméabilisés avec du PBD pour limiter les venues d'eau.

Le nouveau système de drainage est réalisé au moyen de forages drainants horizontaux et de descentes dans le mur existant. Le système est relié au nouveau collecteur d'eau au pied du mur (voir image 5).

Comme vivement recommandé dans le rapport [1], la pose de canalisation métallique fixée par des brides métalliques, le tout en acier inoxydable représente la solution la plus durable pour le câblage des cellules de mesure.

Pour cette variante les coûts de construction sont d'environ 2'500 CHF/m².

4.3.2 Etape d'exécution

Les principales étapes d'exécution des renforcements avec ancrages actifs sont les suivantes :

- | | |
|---|--------------------------------|
| 1 Carottage dans le béton du mur existant des ancrages et drainages | 5 Mise en place de l'armature |
| 2 Fouilles | 6 Bétonnage |
| 3 Hydrodémolition des niches | 7 Forage des ancrages |
| 4 Mise en place du système de drainage | 8 Mise en tension des ancrages |

4.3.3 Détail tête d'ancrage

Pour garantir la protection contre la corrosion, une attention particulière est apportée aux têtes d'ancrages (voir image 6). En général, toutes les têtes d'ancrage sont de type contrôlables, sauf environ 5% qui sont des têtes d'ancrages mesurables.

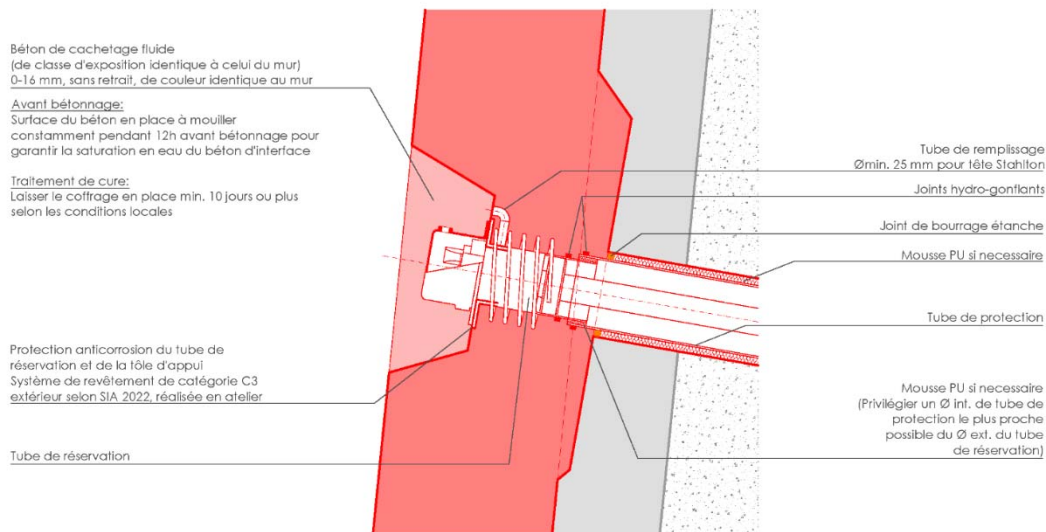


Image 6 : Détail tête d'ancrage contrôlable

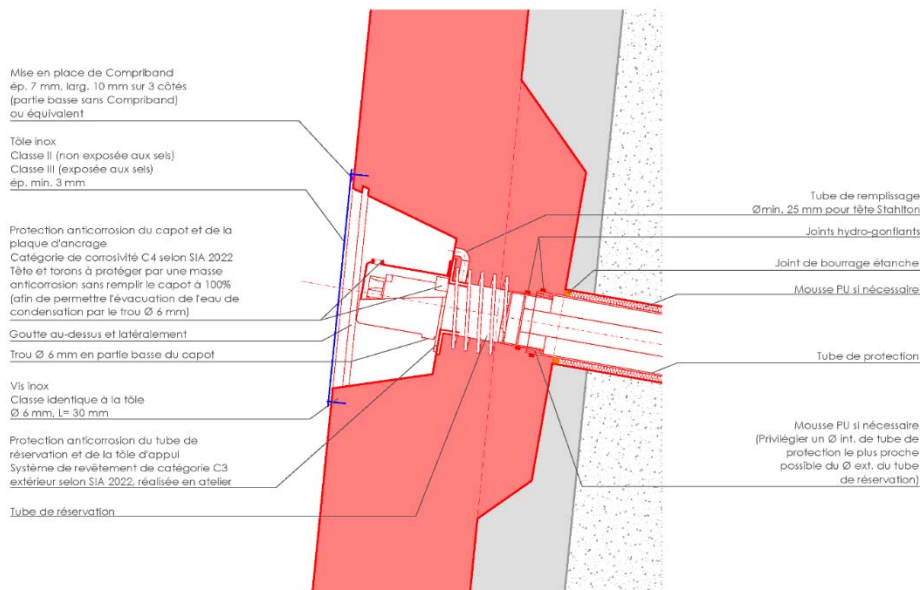


Image 7 : Détail tête d'ancrage mesurable

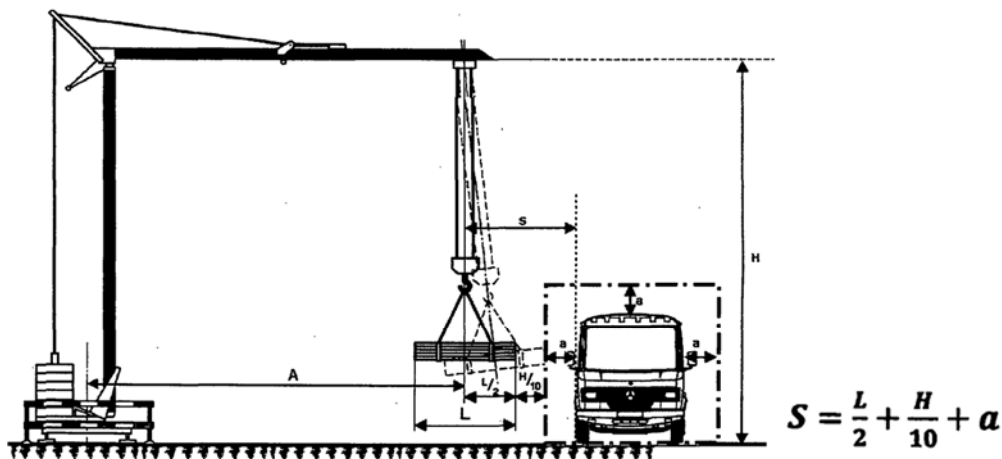
5 Particularités

5.1 Gestion du trafic

Le trafic journalier moyen (TJM) de l'autoroute N09 près de Montreux est d'environ 60'000 véhicules. Pendant toute la durée des travaux (d'avril à octobre), le 2+2 doit être garanti. Etant donné que les deux chaussées sont sur deux niveaux différents, la place à disposition pour garantir 2 voies de circulation et la zone de chantier est très limitée. L'entreprise avait 4.2 m maximum à sa disposition, largeur à peine suffisante pour une foreuse.

5.2 Balancement des charges de la grue

Pour éviter que la charge de la grue n'entre dans le gabarit autoroutier, il faut respecter la formule de l'image 8, selon les recommandations de la SUVA. Si la formule n'est pas respectée, il faut mettre en place une paroi de protection type CFF.



- A= Portée admissible ou réduite avec un système limiteur de zone de survol
- L= Longueur maximum de la charge transportée sur le chantier
- H= Delta entre le niveau de la voie rapide et du point de pivot de l'engin de levage
- a= Distance complémentaire / facteur de sécurité (coefficient de correction par exemple pour les turbulences induites par l'effet de trainée des véhicules)
- S = Distance de sécurité totale

Image 8 : Balancement de la charge de la grue

Pour le chantier 2016, l'entreprise a utilisé une grue à tour ce qui a exigé la mise en place d'une paroi de protection type CFF et dont le coût atteignait environ CHF 800.--/m². Un autre inconvénient des parois de protection CFF est la mise en œuvre d'un trafic bidirectionnel de nuit pour sa mise en place et son démontage. Afin d'éviter ces contraintes, l'entreprise utilise des mini-grues pour le chantier 2017. La hauteur de charge étant inférieure, une paroi de protection type CFF n'est plus nécessaire.

5.3 Vipères aspics

Suite à la présence de plusieurs vipères aspics (menacées d'extinction dans la région de Lavaux) sur quelques chantiers, le Centre de Coordination pour la Protection des Amphibiens et des Reptiles de Suisse (karch) est intervenu. Des mesures particulières ont été prises pendant l'exécution et les ouvriers ont été informés sur le comportement à adopter en cas de morsures. Le CHUV à Lausanne a été informé afin de se constituer un stock suffisant de sérum. Le spécialiste du « karch » a posé des pièges pour attraper les reptiles et les déplacer temporairement dans un vivarium.

Pour créer un habitat idéal pour les vipères, des niches pierreuses [4] ont été réalisées et une clôture adaptée a été posée le long de l'autoroute.

6 Littérature

- [1] Rapport de synthèse et retour d'expérience des études et travaux réalisés de 2006 à 2013, Consortium GUMA, 29.11.2013.
- [2] Gefährdung von Winkelstützmauern durch Korrosion, Untersuchungen des Bruchverhaltens, Dr. Vollenweider AG, 17.12.2012.
- [3] Rapport des résultats des investigations 2013, mur 09M071, sd ingénierie Lausanne SA, 2013.
- [4] Notice pratique petites structures, niches pierreuses, karch, 20.12.2011.

Auteur :

Marcello Pavone
Ingénieur civil HES / SIA / Reg. A
AF TOSCANO SA
6802 Rivera

et

Nicola Richina
Ingénieur civil ETH
AF TOSCANO SA
6802 Rivera