

Rapport technique / domaine du génie civil et des machines / matériel

Contenu : Présentation d'une variante d'entreprise pour l'exécution de travaux en terrain difficile d'accès

Rédaction : Christophe Jaquet / Etudiant 3^{ème} année ETC / 1772 Grolley
Date : 26 Décembre 2015

Présentation générale du projet

En 2015, la DGMR (direction générale de la mobilité et des routes), supervisée par le canton de Vaud, a adjugé des travaux de renforcement et d'assainissement des fondations du pont d'Aigremont. Cet ouvrage, construit en 1978, se situe sur la commune d'Ormont-Dessous sur la RC706 et repose sur un massif géologiquement instable. Avec le temps, un glissement de terrain est venu s'appuyer contre les fondations de ce pont et exerce des efforts indésirables sur celles-ci. De plus, la Raverette, un torrent s'écoulant au pied de la pile 3, a subi un changement d'emplacement de son lit et s'est rapproché des fondations de l'ouvrage. Le débit de ce cours d'eau augmente fortement en cas de précipitations et lors de la fonte des neiges, ce qui engendre une érosion au-dessous du massif en béton armé soutenant la pile.

Dans ce projet, seules les piles 3 et 4 étaient concernées par ces travaux de renforcement. Des murs qui venaient doubler la face frontale de la fondation existante devaient être bétonnés. Ensuite, une série de forages devait être exécutée afin de poser des ancrages au travers des massifs de fondation de ces deux piles.

Une nouvelle longrine inclinée en béton armé, ancrée également, venait assurer davantage le maintien du terrain à l'aval de la pile 4. Quant à la pile 3, où l'érosion du torrent menaçait la stabilité de l'ouvrage, la pose d'enrochements sur les rives et la création de seuil au travers du cours d'eau étaient prévus pour protéger les fondations contre les futures crues.

Il devenait urgent d'entreprendre ces travaux de renforcement des fondations et des berges. En raison des accès difficiles à la zone de chantier, les ingénieurs prévoyaient la pose d'un blondin pour acheminer l'inventaire et les matériaux.

L'entreprise ARSA Constructions SA a déposé une variante qui consistait à remettre en état la piste de chantier utilisée lors de la construction du pont.

Ces travaux devaient être réalisés en 8 mois au maximum afin de tenir compte des conditions météorologiques du lieu de l'emplacement du pont qui se situe environ à 1000 mètres d'altitude. L'entreprise a débuté les travaux à la mi-avril 2015 et les a terminés à la fin du mois d'octobre.

Pour assurer une exécution optimale de ces travaux, il était primordial de se pencher de manière minutieuse sur les moyens à engager en raison de l'accès difficile à la zone de chantier et du volume important de matériaux à transborder :

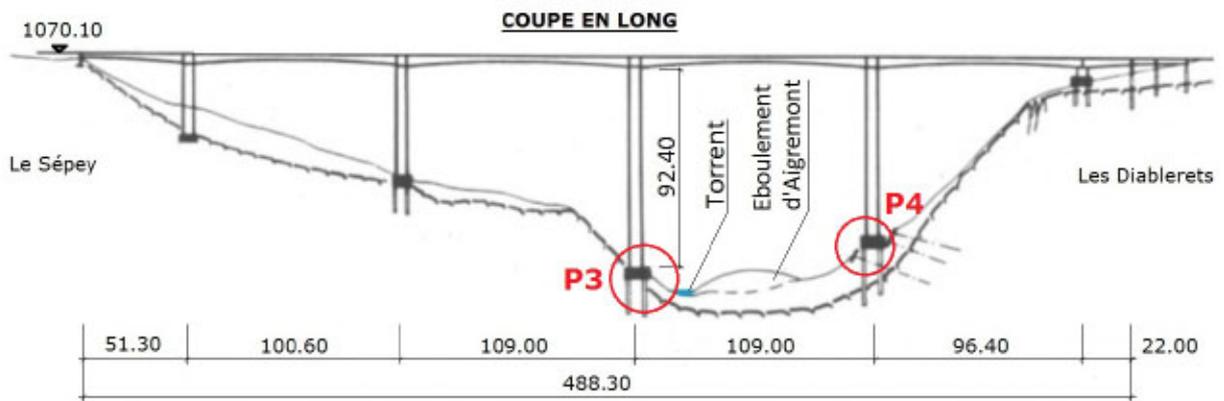
- Terrassement	500 m3
- Remblayage	250 m3
- Béton	650 m3
- Armature	60 to
- Tirants d'ancrages	1000 m
- Coffrage une face	350 m2
- Enrochements	1200 to



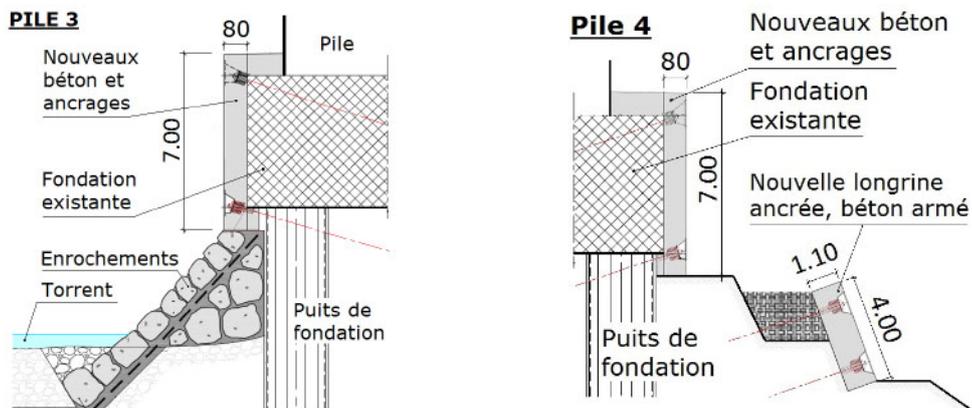
Localisation géographique de l'ouvrage



Coupe en long de l'ouvrage



Coupes en travers des fondations des piles



Description des travaux

L'entreprise a débuté les travaux par la pose des enrochements au front de la pile 3 afin de pouvoir débiter le bétonnage contre les fondations au plus vite. La suite de la pose des blocs sur les rives et la construction des seuils se sont effectuées par étapes tout au long du chantier.



Parallèlement à ces travaux, l'entreprise a commencé la construction de la longrine à la pile 4. Celle-ci a été réalisée avec un coffrage deux faces fortement étayé en raison de son inclinaison.

Le bétonnage s'est effectué en deux étapes sur sa hauteur en raison du volume de béton nécessaire et de la masse totale difficile à étayer en une seule étape. Pour assurer le maintien du bon angle d'inclinaison de l'élément, les travaux de remblayage avec de la grave stabilisée se sont effectués au fur et à mesure du décoffrage. Cette méthode s'est répétée pour la deuxième étape.

Une fois cette longrine construite, les travaux de renforcement contre la pile 4 ont pu débiter. Ce coffrage une face était ancré dans le béton existant à l'aide de chevilles expansibles et de tige de coffrage. Quatre étapes de bétonnage ont été nécessaires sur cette pile. Lorsque ce bétonnage de la pile 4 fut terminé, les travaux de forage ont pu débiter. Ces travaux ainsi que la pose des ancrages se sont effectués en alternance entre la longrine et la fondation de la pile 4. Cela permettait de respecter les temps de durcissement du béton selon les dates de bétonnage, mais également de préparer la place de travail entre les exécutions des rangées d'ancrages inférieures et supérieures.



Durant ces travaux spéciaux sur la pile 4, l'entreprise a effectué les cinq étapes de bétonnage contre la fondation de la pile 3. Une place provisoire avait été aménagée afin de pouvoir manœuvrer avec la grue télescopique sur chenilles. La méthode d'exécution de ce renforcement en béton contre cette fondation a été la même que pour la pile 4. Une planification des étapes de bétonnage avait été faite pour qu'il n'y ait pas de temps d'attente entre l'exécution des forages des piles 3 et 4.



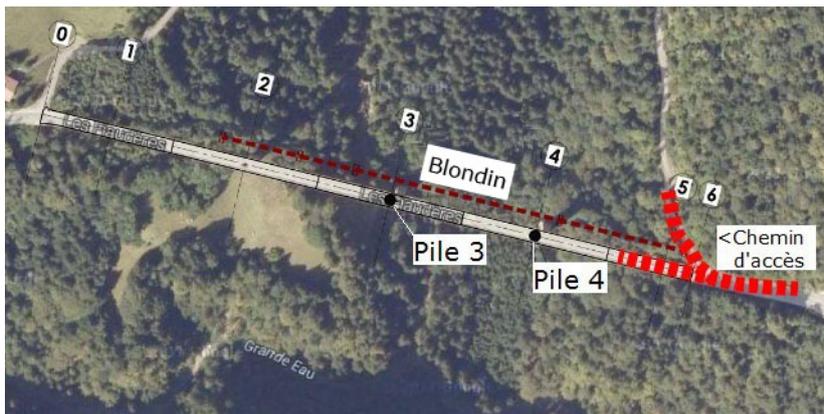
Une fois la pose et la mise en tension des ancrages terminées, la place provisoire a été démontée et la pose des derniers enrochements pouvait se faire. Quand l'ensemble des travaux fut fini, il a fallu démonter les installations et remettre en état le terrain.

Variante selon la soumission de l'ingénieur

Comme cité en introduction, le texte de soumission du bureau d'ingénieur pour acheminer l'inventaire et les matériaux au bas des piles était basée sur la pose d'un blondin provisoire pour toute la durée des travaux.

Un blondin est un téléphérique équipé d'un système de levage dont la capacité peut aller jusqu'à plusieurs dizaines de tonnes. Ce système est pratique pour effectuer des transports de matériaux ou d'inventaire où les accès sont difficiles, comme sur le chantier traité dans ce document.

Cependant, son coût reste élevé car il s'agit d'une installation spéciale, souvent sur des terrains difficiles d'accès, dont l'implantation et le montage doivent être bien étudiés à l'avance. En effet, un mauvais dimensionnement ou emplacement du moyen de levage peut engendrer d'énormes pertes financières sur le chantier. Il faut également tenir compte que l'exploitation doit être assurée par un opérateur spécialisé qui dirige l'ensemble de l'engin depuis la station principale et qu'un ouvrier doit se charger de la réception du chargement. Cette main d'œuvre mise à disposition pour assurer le fonctionnement de cette installation représente un montant non négligeable.



Sur ce plan se situe le tracé du blondin prévu en soumission. L'avantage de cette installation était de permettre de décharger rapidement du matériel et des matériaux directement aux pieds de l'ouvrage. Pour ce chantier, l'entreprise avait prévu un blondin d'une capacité de 5 tonnes. Cela nécessitait plusieurs voyages pour vider un camion malaxeur, ce qui aurait engendré du temps d'attente. Le problème résidait également dans le transport des machines jusqu'à la zone de chantier. Celles-ci auraient dû être

démontées pour le transport avec le téléphérique, puis rassemblées au bas du pont. Un blondin plus performant serait trop coûteux.

Avec ce système, les chargements auraient dû transiter au-dessus des ouvriers pendant qu'ils travaillaient. Comme pour tous les chantiers, les moyens de levage doivent éviter de passer au-dessus du personnel avec des chargements.

Le tracé rouge du plan ci-dessus indique la zone de déchargement des matériaux prévue en soumission. La photo de droite représente cet emplacement. Le chemin partant à droite de la route cantonale ne possède pas une surface permettant un grand stockage de matériel. Lors du transport des blocs d'enrochement avec le téléphérique, une pelle munie d'un grappin devrait assurer le transbordement du camion à la benne de chargement du blondin. Cette machine prendrait de la place et devrait travailler sur un espace déjà restreint. De plus, les camions assurant les livraisons devraient manœuvrer sur la route cantonale, ce qu'il est préférable d'éviter.



L'utilisation du blondin pour mettre en œuvre ces travaux aurait été possible car des solutions peuvent être appliquées pour diminuer ces contraintes, mais cela aurait engendré des coûts supplémentaires. Pour les différentes raisons citées ci-dessus, l'entreprise ARSA Constructions SA a étudié une variante qu'elle a finalement exécutée pour réaliser ce chantier.

Variante de l'entreprise

Lors de la construction du pont à la fin des années 70, une piste de chantier assurait la liaison depuis la route cantonale du côté du Sépey jusqu'aux pieds des piles. L'entreprise de construction s'est intéressée à cet ancien accès afin d'en étudier une réaffectation. Au total, il faudra parcourir environ 650 mètres pour relier la zone de déchargement des matériaux prévue par l'entreprise avec la pile la plus éloignée.

Environ un quart du tracé était encore en bon état et ne nécessitait qu'un réglage de la planie, mais le reste de l'accès comportait plusieurs points qui impliquaient une attention particulière durant l'établissement de cette variante. Pour remettre en état cette piste, l'entreprise avait l'interdiction de terrasser à certains endroits et ne devait travailler qu'en remblayant en raison de l'instabilité du massif.

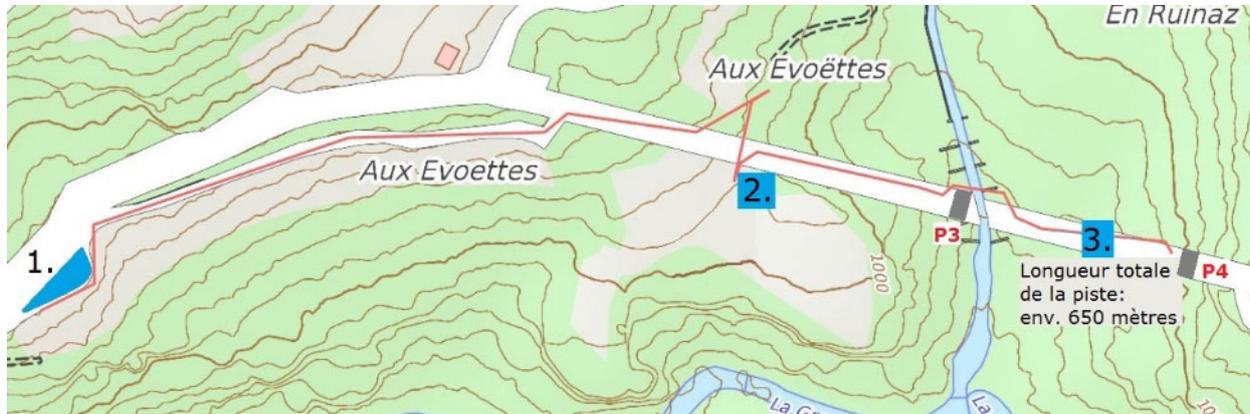
Deux segments de piste mesurant 20 mètres de long chacun s'étaient partiellement effondrés avec le temps. Par endroit, la pente de ce tracé avoisinait les 30%, ce qui limitait les types de véhicules pouvant emprunter. De plus, le passage reliant les deux piles à assainir était marécageux et impraticable avec des engins.

L'entreprise a réfléchi aux moyens de remédier à ces contraintes car la piste avait l'avantage non négligeable de permettre l'utilisation de machines beaucoup plus puissantes. Un moyen de levage performant pouvait être utilisé pour coffrer et bétonner les nouveaux murs et une pelle sur chenilles plus conséquente pouvait améliorer les rendements des travaux de terrassement, de remblayage et de pose d'enrochements.

Pour remettre en état cette piste, la première étape était le décapage de l'humus forestier. Ensuite des caissons en rondins ont été construits aux endroits où l'accès s'était effondré. Au passage marécageux, un drainage a été posé et des rondins couchés transversalement sur un géotextile pour augmenter la résistance mécanique du sol. Pour permettre le passage des véhicules par-dessus le torrent, deux buses en acier ondulé d'un diamètre de deux mètres ont été installées. Une fois ces constructions terminées, une couche de grave dont l'épaisseur variait en fonction des besoins a été mise en place pour garantir une portance suffisante de la piste.



Tracé de la piste de chantier et places des installations de chantier pour la variante de l'entreprise



— Piste de chantier de la variante d'entreprise

1. Zone de livraison / transbordement de l'inventaire et des matériaux, parking pour véhicules de transport du personnel
2. Container DT
3. Zone de vie, containers outils, parc machines, installation traitement de l'eau, installations diverses

Machine prévue dans la variante d'entreprise

Afin de remplacer le blondin, l'entreprise devait trouver une machine capable d'acheminer les matériaux et l'inventaire en empruntant cette piste provisoire. L'idée de base était d'utiliser deux dumpers sur chenilles possédant une charge utile de 10 to chacun, mais une seule de ces machines se louait près de 8'000.00 francs par mois. En constatant les coûts qu'engendrait l'utilisation de ces dumpers et les contraintes concernant le transport du béton via ceux-ci, l'entreprise s'est tournée vers une meilleure solution : un porteur forestier.

Après l'acquisition d'un porteur d'occasion, les mécaniciens de l'entreprise ont effectué les transformations nécessaires afin d'équiper la machine d'un pont multilift. Cela permettait d'acheminer le béton à l'aide d'un malaxeur, ce qui garantissait une qualité optimale du matériau. Il était également possible de transporter les blocs d'enrochement et la grave aisément en équipant l'engin d'une benne de chantier. Le transport de tout l'inventaire pouvait être assuré grâce à la polyvalence de cette machine. Celle-ci était également équipée d'un grappin permettant la manutention de matériel sans engin supplémentaire. De plus, grâce à sa caméra de recul et à son poste inversé, cette machine pouvait être conduite aussi facilement dans un sens de marche que dans l'autre. Cet équipement s'est avéré très pratique car peu d'endroit permettait au machiniste de faire demi-tour, ce qui rendait la marche arrière indispensable sur certains segments de piste.



Avantages et désavantages de la variante de l'entreprise

Avantages :

- Autonomie de l'entreprise (blondin = tiers)
- Economie sur installation / main-d'œuvre
- Utilisation de machines plus performantes
- Stockage possible sur la zone de livraison
- Meilleur accès au chantier pour le personnel

Désavantages :

- Investissement pour le porteur forestier
- Temps de transport du béton augmenté

Comparaison des coûts entre les deux variantes

Désignation	Variante ingénieur			
	Quantité	Unité	Prix	Montant
Montage et démontage du blondin 5 to	1	global	270'000.00	270'000.00
Location sans exploitation	20	semaine	8'400.00	168'000.00
Exploitation du blondin	100	jour	850.00	85'000.00
Montant total				523'000.00

Désignation	Variante entreprise			
	Quantité	Unité	Prix	Montant
Construction de la piste de chantier et démontage partiel	1	gl	150'000.00	150'000.00
Porteur forestier Valmet	450	h	320.00	144'000.00
Machiniste	450	h	80.00	36'000.00
Montant total				330'000.00

Récapitulation :

Variante ingénieur 523'000.00 Fr.
 Variante entreprise 330'000.00 Fr.

Différence : 193'000.00 Fr.

La variante de l'entreprise permettait d'économiser 193'000.00 francs par rapport à la variante de l'ingénieur. Cette différence ne représente pas loin de 13% du montant total des travaux qui était d'environ un million et demi de francs. Grâce à cette variante, l'entreprise s'est vu adjudger les travaux d'assainissement de ce pont.

Conclusion

Autant sur le papier que lors de l'exécution des travaux, cette solution proposée par l'entreprise s'est avérée concluante. En effet, les délais ont pu être respectés malgré un contretemps météorologique ayant fait perdre deux semaines sur le planning au début des travaux. De plus, grâce à cette piste, le problème d'acheminer des machines pour poser les enrochements, coffrer ou bétonner ne se posait plus. Cette proposition de variante n'avait pas pour but de gagner du temps par rapport à celle de l'ingénieur car les deux plannings possédaient une durée identique. L'avantage pour le maître d'ouvrage résidait essentiellement dans le gain financier.

Pour conclure, ce chantier démontre qu'il est important d'analyser plusieurs possibilités de mise en œuvre des travaux afin de définir celle qui sera la plus favorable au projet. Une entreprise proposant une variante d'exécution diminuant les coûts ou la durée d'un chantier peut facilement faire pencher la balance en sa faveur pour l'adjudication.

Remerciements

Je tiens à transmettre mes remerciements aux personnes ci-dessous qui m'ont assisté et fourni les informations nécessaires pour rédiger ce rapport.

M. Alain Repond, Directeur technique du groupe ARSA Constructions
M. Yves-André Repond, Directeur Andre Repond SA

Sources

www.poma.net Informations sur les blondins
www.publidoc.vd.ch Informations complémentaires sur le chantier du pont d'Aigremont

Photos

Chantier de l'assainissement des fondations des piles du pont d'Aigremont