

Passage sous la digue CFF

Autor(en): **Bisetti, Aldo / Houriet, Bernard / Gnaegi, Jean-François**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Tracés : bulletin technique de la Suisse romande**

Band (Jahr): **137 (2011)**

Heft 22: **Projet Poya**

PDF erstellt am: **29.06.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-237690>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Passage sous la digue CFF

Le tracé de la route en provenance du pont de la Poya implique de croiser la ligne CFF reliant Lausanne à Berne. Pour creuser une tranchée couverte sans perturber le trafic ferroviaire, les ingénieurs ont élaboré un ingénieux projet par étape qui passe par la mise en place de ponts provisoires.

En cours d'exécution, le lot D du projet Poya se situe entre le carrefour St-Leonard et le pont haubané de la Poya en construction. Les ouvrages de ce lot permettent de passer en tranchée couverte sous la digue CFF et en souterrain sous les maisons qui bordent le chemin du Palatinat.

Ce lot comprend les ouvrages suivants (fig. 2):

- un passage inférieur (PI) en béton fondé sur pieux et réalisé à l'abri de deux ponts provisoires de 29 m de longueur;
- des parois de pieux ancrés pour conforter la digue CFF;
- une tranchée couverte sous la digue (TC CFF), à l'abri de quatre ponts provisoires de 29 mètres qui s'appuient, dans la zone centrale, sur la structure du passage inférieur (objet principal du présent article);
- le tunnel du Palatinat, implanté à faible profondeur dans un environnement bâti (voir article p. 28).

Entre ces deux derniers ouvrages se situe la tranchée couverte du parc Poya qui, dépourvue de difficultés techniques particulières, offre une zone d'accès commune et permet la réalisation simultanée du passage sous la digue du tunnel.

Tracé et contraintes

En situation, le tracé est conditionné principalement par le raccordement au carrefour St-Léonard et au pont haubané. Il est composé de tronçons en clothoïdes, en alignement et en courbe avec un rayon horizontal de 180 mètres. Il suit une pente descendante unique de 0.65 % d'ouest en est.

L'environnement bâti, les conditions géologiques difficiles, la section importante de l'ouvrage routier (fig. 4) avec ses trois voies de circulation, la présence d'une nappe en écoulement proche de la surface du terrain naturel et le maintien du trafic ferroviaire d'une ligne à grand trafic constituent les contraintes imposées au projet. De plus, l'angle de croisement très faible (env. 30°) entre les axes routier et ferroviaire impose la démolition de la digue CFF sur une grande longueur.

Géologie et conditions hydrogéologiques

Le profil géologique montre une stratification lenticulaire de formations géologiques qui appartiennent toutes au Quaternaire (fig. 3). Les formations qui concernent le projet peuvent être subdivisées en deux groupes de qualité différente.

Le premier groupe, au sein duquel la fouille de la TC CFF doit être creusée, est constitué de matériaux de qualité médiocre comprenant des remblais, des sols marécageux et principalement des dépôts liés au retrait glaciaire (alluvions fines glaciolacustres et grossières fluvioglaciaires). Le second groupe, de meilleure qualité, est constitué de moraine remaniée, de moraine de fond et d'alluvions interglaciaires.

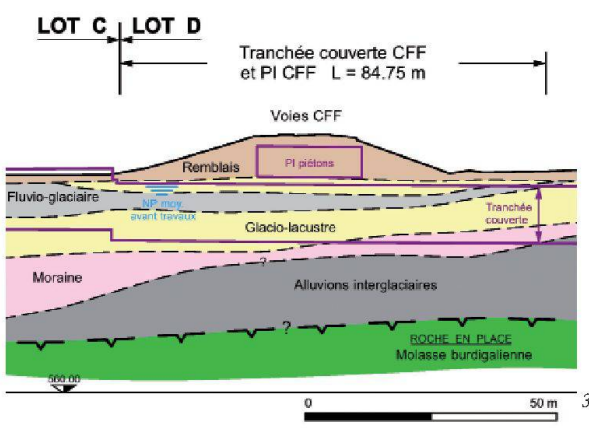
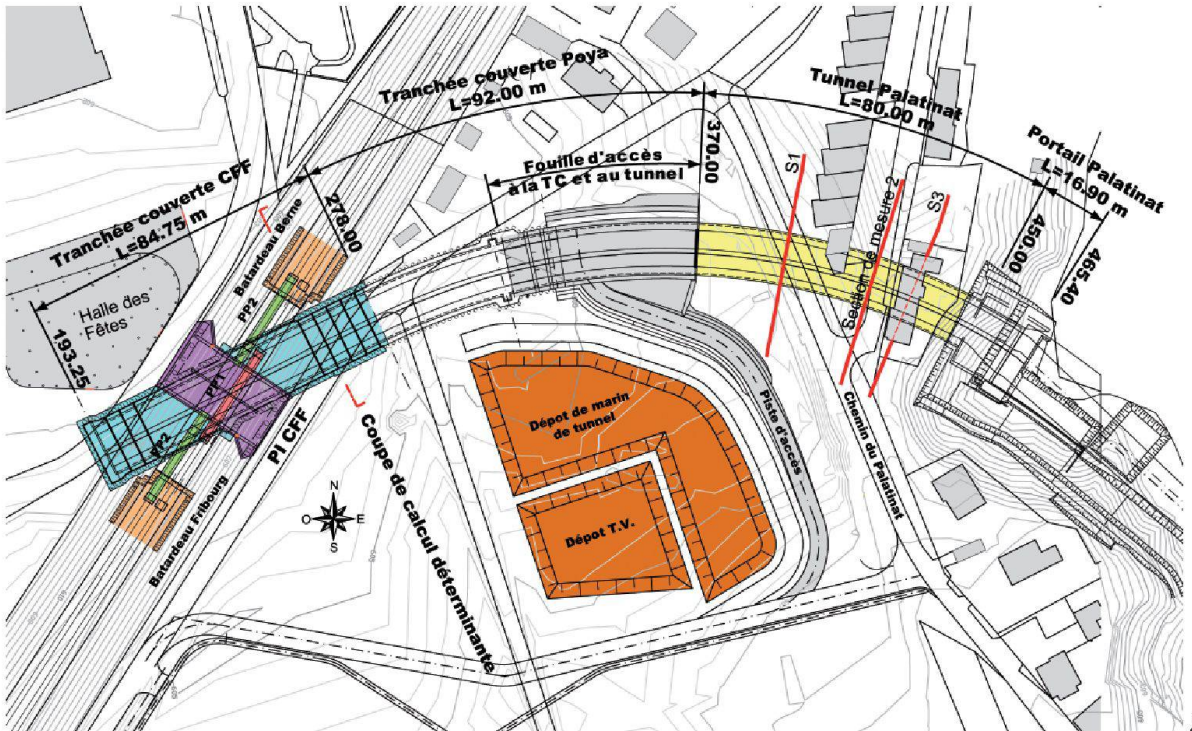
La molasse, constituée de grès fins à moyens, se trouve à une vingtaine de mètres sous le fond des excavations et son influence sur les ouvrages est quasi nulle.



Fig. 1 : Le passage inférieur avec les seconds ponts provisoires PP2 (Photo Etat de Fribourg / Eric Sauterel)

Fig. 2 : Situation générale schématique

Fig. 3 : Profil en long géologique au droit de la TC CFF



La réalisation de la fouille de la TC CFF implique un abaissement significatif de la nappe (plusieurs mètres) avec l'objectif de dénuder la nappe libre du fluvio-glaciaire. Ce rabattement, prévu à l'aide de puits filtrants situés à l'extérieur de la tranchée, vise à diminuer les venues d'eau, à stabiliser le terrain entre les pieux des parois de fouille et à supprimer le risque de renard hydraulique (instabilité du fond de fouille sous l'effet de forces de percolation).

Caractéristiques géotechniques

Des campagnes de sondages ont permis le prélèvement d'échantillons pour des essais de laboratoire (identification, γ , w , résistance et déformabilité) et la réalisation d'essais in situ (SPT, essais pressiométriques et dilatométriques). Ces essais ont abouti à l'élaboration d'un modèle géotechnique qui constitue l'interprétation que fait l'ingénieur des données géologiques et géotechniques à sa disposition.

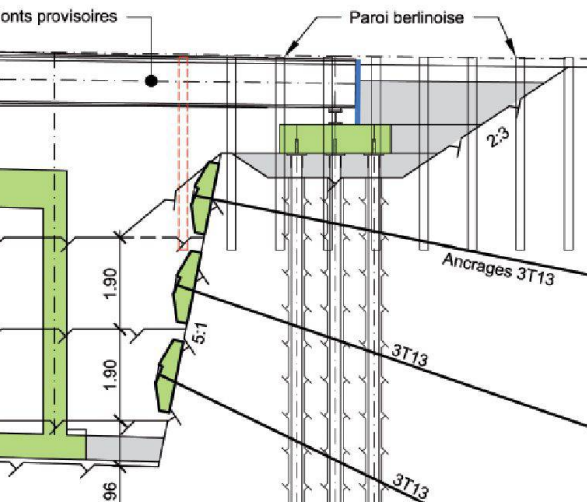
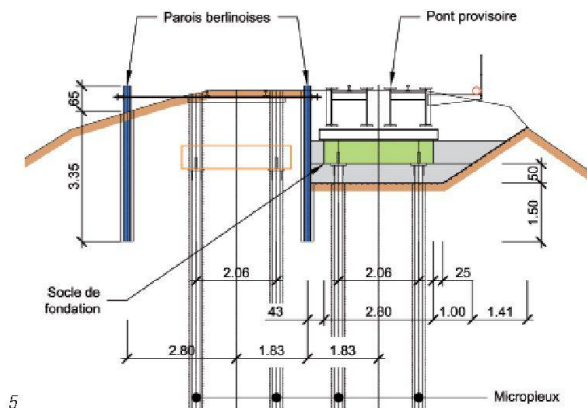
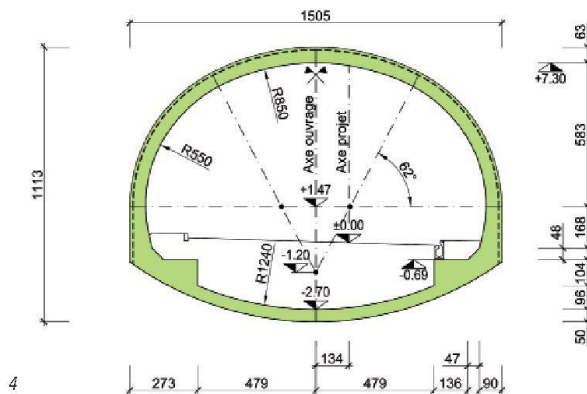
La résistance externe prévue pour les ancrages varie entre 60 KN/m (par m de scellement) pour le glaciolacustre et 100 KN/m pour la moraine de fond et l'interglaciaire. Des tirants d'essais ont déjà été réalisés et l'interprétation des premiers résultats montre que les valeurs escomptées ne sont pas faciles à atteindre. Face à cette situation, une procédure d'exécution concertée entre le projeteur et l'entreprise a été

Le profil géologique montre aussi une alternance de terrains de perméabilité très contrastée et les forages de reconnaissance ont révélé des aquifères superposés, de piézométrie différente. L'aquifère le plus significatif est une nappe phréatique libre, sise dans les dépôts fluvio-glaciaires. Cet aquifère affecte essentiellement la TC CFF, puisque son extension est limitée en direction de l'est par des formations imperméables qui remontent en surface.

Fig. 4 : Profil normal de la TC et du tunnel

Fig. 5 : Fondations des ponts provisoires PP1 et PP2

Fig. 6 : Fondations des ponts provisoires PP1 et fouille PI



mise sur pied afin d'optimiser la résistance des scellements, et de nouveaux tirants d'essais sont en cours de réalisation.

Tranchée couverte CFF

Compte tenu de sa complexité, le passage sous la digue CFF a fait l'objet d'une analyse détaillée au début des études, avec en particulier une modélisation aux éléments finis, inhabituelle à ce stade du projet. La variante tunnel a finalement été abandonnée, au profit de la variante tranchée couverte, en raison notamment de la difficulté à maîtriser les tassements et du risque résiduel inacceptable pour le trafic de la ligne CFF Berne – Fribourg.

La construction de la TC CFF comprend les cinq phases suivantes :

- premier transfert des voies CFF sur deux ponts provisoires (PP1) de 28,2 m de portée et construction du passage inférieur piétons (PI) sous les voies. Les extrémités des PP1 s'appuient sur des fondations profondes ;
- second transfert des voies CFF sur quatre ponts provisoires (PP2) de 28,2 m de portée. Les PP2 s'appuient sur le PI et sur des fondations profondes ;
- excavation de la fouille de la TC sous les PP2 et le PI ;
- bétonnage de la structure de la TC ;
- remblayage de la fouille, reconstitution de la digue, dépose des ponts provisoires et rétablissement de la ligne CFF.

Premier transfert et construction du PI

Les fondations en béton des PP1 reposent sur deux groupes de trois micropieux situés à l'extérieur des voies (fig. 5 et 6). Espacés transversalement de 2,06 m et longitudinalement de 0,8 m, les micropieux ont une longueur de 25 m, respectivement 17,5 m pour les deux éléments intermédiaires. Ils sont constitués de tubes métalliques 219/10/St52 (diamètre extérieur, épaisseur, nuance d'acier), scellés par injections sous pression dans le terrain naturel et par remplissage gravitaire dans la digue CFF. La liaison entre la tête des micropieux et les socles de fondation préfabriqués est assurée par des connecteurs métalliques posés sur les micropieux et scellés dans les réservations des socles en béton. La majeure partie des travaux de fondations a été réalisée de nuit, avec une des voies partiellement en service.

Les ponts provisoires sont constitués de deux profilés HEM 1000 renforcés et reliés transversalement par des profilés HEM 200 qui portent le rail. Dictée par la portée inhabituelle des poutres métalliques, la hauteur importante des ponts provisoires a nécessité la construction, entre les voies, d'une paroi berlinoise indispensable au transfert différé des voies CFF sur les PP1 (fig. 5). Des tôles de route métalliques

Fig. 7: Mise en place des premiers ponts provisoires PPI (Photo Etat de Fribourg / Eric Sauterei)

disposées verticalement aux extrémités des PP1 assurent la stabilité du ballast au droit de la transition entre la digue et les ponts provisoires.

La pose des ponts provisoires et le transfert des voies sur ces derniers ont été réalisés successivement pour chacune des deux voies, en moins de 36 heures, en maintenant l'autre voie en service (fig. 7).

Le PI, qui sert d'appui aux ponts provisoires de la seconde phase, est une structure en béton fondée sur des pieux forés-tubés de 1200 mm situés au bord de la future fouille de la TC. Des pieux additionnels sont disposés sous le radier agrandi du PI, parallèlement aux voies CFF (fig. 2) pour améliorer la reprise des forces engendrées par le freinage des trains. La structure du PI comprend une double cellule de 17 m de largeur (deux portées de 8,25 m) et de 6 m de hauteur (fig. 1). Les parois de la fouille du PI (fig. 6), perpendiculaires aux voies et à proximité des fondations des PP1, ont été stabilisées par des ancrages précontraints de faible tonnage (scellemets difficiles dans la digue) afin de rétablir le confinement horizontal initial.

Tous les travaux (coffrage, ferrailage, bétonnage, pose de l'étanchéité) du PI ont été réalisés dans l'espace restreint limité par la hauteur de la digue et la portée des PP1.

Transfert des voies CFF sur quatre ponts provisoires

L'emprise de la fouille de la TC nécessite, de chaque côté du PI, l'excavation de la digue CFF sur une longueur de 22 m (zone sous les PP2) et une entaille partielle sur 20 m environ (zone de consolidation de la digue). L'expérience positive enregistrée avec les PP1 a permis de conserver le même concept pour les fondations profondes des PP2. Ceux-ci s'appuient sur les murs en béton du PI dans la zone centrale et sur les micropieux aux extrémités.

Un ceinturage de la digue sur trois côtés (appelé « batardeau ») a été réalisé à l'aide de pieux ancrés et solidarisés en tête par une longrine en béton (fig. 14). Les deux parois parallèles aux voies sont constituées de pieux en béton de 900 mm, ancrés mutuellement à l'aide de tirants précontraints sans scellemets. Pour l'écran transversal à



Fig. 8 : Bétonnage du PI avec les premiers ponts provisoires PPI (Photo Etat de Fribourg / Eric Sauterel)

proximité des micropieux (fig. 9), l'espace restreint sous les PP2 a imposé le recours à des pieux métalliques 219/12,5/N80 constitués d'éléments vissés. L'appui horizontal des tubes métalliques est réalisé à l'aide de tirants précontraints scellés dans la digue. Ce ceinturage de la digue empêche (avant excavation de la TC), puis limite (durant son excavation) une déformation asymétrique et un gauchissement inacceptable des voies.

La réalisation des batardeaux diminue la largeur de la digue sans réduire la charge de terre dans la partie centrale. Pour prévenir une instabilité sous la digue et rétablir la sécurité initiale de la capacité portante du sol, tous les pieux du batardeau ont une fiche de 3 m.

L'appui mutuel des tirants précontraints sur les parois latérales du batardeau, à l'aide de longrines métalliques, permet de s'affranchir de la qualité variable et médiocre de la digue (pas de scellements) et de régler le taux de précontrainte pour limiter la déformation des voies. Cette solution offre par conséquent une sécurité maximale pour le trafic ferroviaire.

La pose des ponts provisoires et le transfert des voies ont été réalisés selon une procédure similaire à celle adoptée

pour les PP1. La pose différée des voies sur le PI a nécessité la mise en œuvre d'une paroi berlinoise démontable, dont les profilés métalliques sont encastrés dans des éléments en béton préfabriqués stabilisés par le ballast (fig. 11).

Avant l'excavation de la fouille de la TC, des butons métalliques sont mis en place sous les PP2 pour compenser la perte de rigidité horizontale du PI occasionnée par l'excavation sous ce dernier.

Excavation et soutènement de la fouille de la TC

Avec les travaux décrits précédemment, les voies CFF sont sécurisées et portées par des ouvrages qui reposent à l'extérieur de la fouille de la TC dont l'excavation peut débuter.

De chaque côté du PI, les parois de la fouille sont constituées de pieux en béton (1200 et 900 mm de diamètre) et de tubes métalliques (219 mm de diamètre) sous les ponts provisoires. Ces tubes sont espacés de 0,8 m et fichés à 6 m sous le fond d'excavation, alors que les pieux en béton présentent un entraxe de 1,9 m et une fiche de 8 m. Les parois sont munies en tête d'une longrine pour solidariser les pieux et appuyer les butons transversaux. Le blindage des parois



8

Fig. 9 : Fondations des ponts provisoires PP2

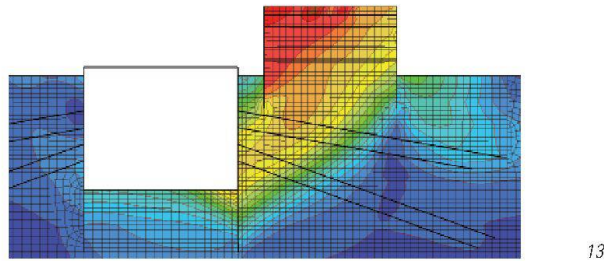
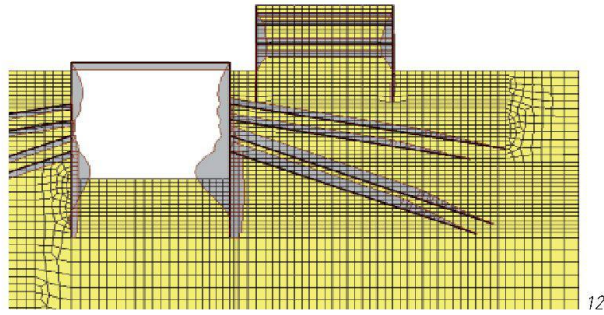
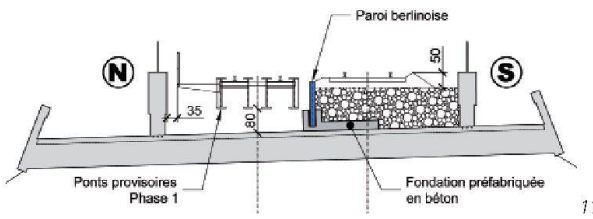
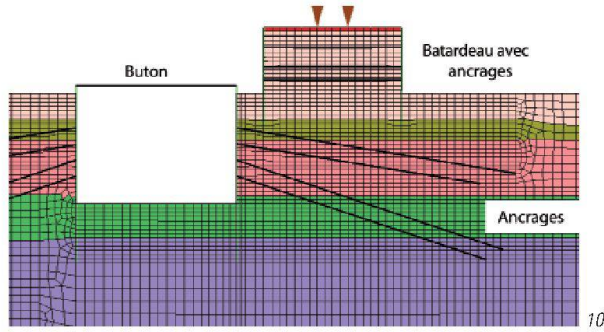
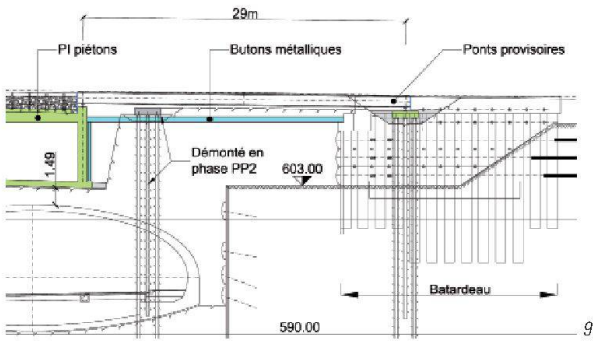
Fig.10 : Réseau éléments finis de la fouille dans la zone du batardeau (coupe déterminante)

Fig.11 : Pose des voies CFF sur le PI

Fig.12 : Sollicitations des pieux, des ancrages et des butons à l'état limite ultime

Fig. 13 : Déplacements absolus à l'état limite ultime

Fig 14 : Entaille et consolidation de la digue CFF (batardeau)



se compose de quatre niveaux d'ancrages sur la hauteur totale de la fouille, respectivement trois niveaux sous le PI, où le radier de ce dernier sert de buton.

Dans la zone des batardeaux, des butons métalliques (HEB 500) situés tous les 4,5 m entre les longrines remplacent un niveau d'ancrages qui serait en conflit avec les pieux fichés des batardeaux. Ces butons diminuent la déformation et apportent la sécurité requise pour la paroi vis-à-vis des poussées résultant du poids de la digue et des surcharges de trafic.

Les deux niveaux supérieurs d'ancrage sont scellés dans les terrains de retrait glaciaire alors que les deux niveaux inférieurs atteignent la moraine et l'interglaciaire. Les fondations profondes des PP2 (micropieux) et celles du bâtiment de la halle des fêtes (pieux) constituent une contrainte qui limite l'espace disponible pour la disposition des ancrages de la fouille de la TC (fig. 2).

Fig. 15: Vue depuis le portail est du tunnel sur le PI, les ponts provisoires PP2 et les batardeaux (Photo Etat de Fribourg / Eric Sauterel)

(Sauf mention, tous les documents illustrant cet article ont été fournis par les auteurs.)



15

La structure de la TC sera réalisée par étapes de 12,5 m. L'armature est constituée de cages préfabriquées (barres transversales et étriers) et de demi-trellis (barres longitudinales). Après la pose, sur la voûte de la structure, d'une étanchéité en LBP (lés de bitume polymère) et de sa protection, le remblayage de la TC puis la reconstitution de la digue pourront être entrepris.

Modélisation et calcul

Plusieurs sections caractéristiques de la fouille ont fait l'objet d'un calcul détaillé basé sur un modèle 2D aux éléments finis (fig. 10), accompagné de modèles simplifiés à l'équilibre limite. La figure 12 montre les sollicitations de la paroi à l'état limite ultime, ainsi que les efforts dans les tirants et les butons pour la coupe déterminante (fig. 2). La figure 13 illustre, pour la même coupe, les déformations engendrées par l'excavation à l'état ultime et indique le mode de rupture déterminant.

La structure de la TC a été calculée à l'aide d'un modèle global 3D aux modules de réaction. La spécificité du calcul tient au biais prononcé entre la structure et la digue, aux charges importantes et à l'interaction entre les charges reprises par le PI et la structure de la TC partiellement à l'abri de ce dernier. Une structure robuste, ductile et munie d'une bonne capacité de redistribution a été développée pour répondre à ces sollicitations.

Aldo Bisetti, ing. civil EPF
Bernard Houriet, dr ing. civil EPF
Jean-François Gnaegi, ing. civil EPF
Sylvain Plumey, dr ing. civil EPF
Cédric Vuilleumier, ing. civil EPF
GVH Tramelan SA
Rue de la Paix 30, CH – 2720 Tramelan