

11 juin 2013 à Luxembourg
Le viaduc de Pulvermühle



Le 11 juin 2013, la délégation AFGC Grand-Est, a organisé une journée consacrée au viaduc de Pulvermühle à Luxembourg. Il s'agit d'un pont mixte à treillis spatial réalisé dans le cadre des travaux d'élargissement du faisceau de voies ferrées à Luxembourg dans un contexte urbain très contraint.

Rappel du programme

10h00 : Accueil des participants à l'hôtel Novotel Luxembourg Centre

10h05 : Mot de bienvenue

Adrien Loiseau, Lux Ouvrage d'Art / AFGC

10h15 : Exposés techniques

Introduction générale : Concours d'ingénieur/architecte, situation géographique, contraintes et objet du projet
Patrick Renard, Chemins de fer Luxembourgeois (CFL)

Présentation des grandes phases du projet et exposition succincte des différents travaux afférents

M. Raimundo, TR-Engineering et M. Kemp, Entreprise Galère

Présentation des spécificités de l'ouvrage viaduc - Charpente, lancement, soudures

M. Raimundo, TR-Engineering et M. Van Overbeke, Entreprise Aelterman

Présentation des spécificités de l'ouvrage sur perré:

→ Contexte géologique de l'ouvrage

M. Heintz, Eurasol

→ Stabilisation de l'ouvrage

M. Raimundo, TR-Engineering

→ Instrumentation et surveillance de l'ouvrage

Mme Chini, Eurasol

Spécificités de l'ouvrage routier du boulevard d'Avranches avec maintien de la circulation routière et reprise en sous-oeuvre du vestige de la tourelle espagnole

M. Raimundo, TR-Engineering et M. Kemp, Entreprise Galère

12h00 : Questions / réponses

12h15 : Déjeuner

13h45 : Visite guidée par groupes de deux à trois guides composés de MM. Renard, Palmirotta et Romano (CFL), M. Colombier (Socotec), M. Koeune, TR-Engineering, Mme. Chini et M. Heintz, Eurasol et M. Car

Pourquoi un deuxième viaduc de Pulvermühle?

Quatre voies de chemin de fer pour deux lignes.

Le viaduc de Pulvermühle existant, qui franchit la vallée de l'Alzette entre la sortie Nord de la gare de Luxembourg et le plateau du Rham, constitue un goulot d'étranglement du réseau ferroviaire. Dans la situation actuelle, deux lignes distinctes passent dans les deux sens sur les deux voies de cet ouvrage :

- * la ligne Luxembourg - Troisvierges en direction de Liège;
- * la ligne Luxembourg - Wasserbillig en direction de Trèves.

Afin de permettre une augmentation de la capacité à la sortie Nord de la gare, il s'avère indispensable de disposer sur le tronçon de l'actuel viaduc de quatre voies ferrées. Ceci est réalisé en séparant les deux lignes dès la sortie de la gare par la réalisation d'un nouvel ouvrage d'art pour deux voies ferrées supplémentaires longeant l'actuel viaduc Pulvermühle du côté Nord-Est.

Trois ouvrages en un

Le projet du viaduc de dédoublement de Pulvermühle comporte trois ouvrages distincts, à savoir :

- * le pont-viaduc qui enjambe la vallée de l'Alzette et qui comporte deux piles-culées et quatre piles creuses en béton armé, fondées sur des fondations profondes de type pieux en béton armé et un tablier constitué d'une structure mixte formée par une charpente métallique tubulaire triangulaire et d'une dalle en béton armé;

- * l'ouvrage situé en crête du perré Bisserwee, qui fait suite au viaduc en direction de Hamm jusqu'au raccordement tangentiel à la ligne existante. Il est constitué d'un caisson fermé trapézoïdal en béton armé fondé également sur des fondations profondes type pieux en béton armé;

- * le tunnel qui livre passage au boulevard d'Avranches. Il est constitué pour la partie supportant la route d'un cadre fermé et pour la partie d'entrée de trémie d'un cadre ajouré en béton armé. Ce nouveau tunnel permettra d'une part le prolongement de la troisième voie existante, qui actuellement se termine en cul de sac dans le tunnel sous la Rocade de Bonnevoie, et d'autre part le raccordement au moyen d'un appareil de voie d'une future quatrième voie empruntant chacune le nouveau viaduc.

Les nouveaux ouvrages tiendront compte de l'impact sur l'environnement naturel général des lieux et en particulier du cours d'eau de l'Alzette. Ils intégreront également des écrans de protection acoustique tant

Les manifestations régionales

du côté du nouvel ouvrage que du côté du viaduc existant.

Synthèse des présentations

Concours ingénieur/architecte, situation géographique, contraintes et objet du projet

Patrick Renard, Chemins de fer Luxembourgeois (CFL)

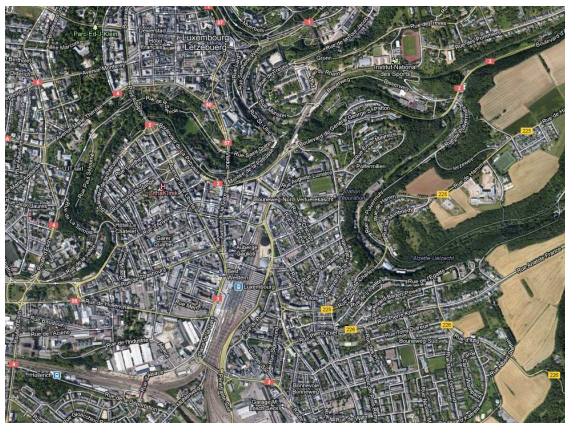


Le réseau CFL

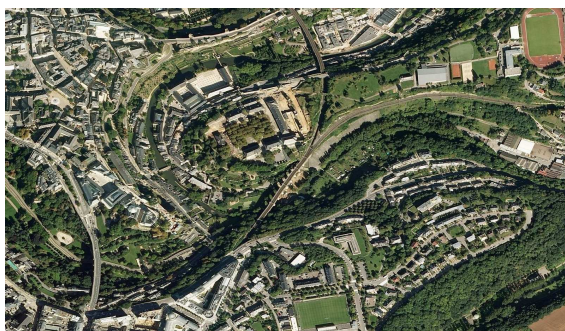
- 3 liaisons vers la Belgique
- 2 liaisons vers la France
- 1 liaison vers l'Allemagne



Gare de Luxembourg (nœud névralgique du réseau, terminus et départ de l'ensemble des trains)



Gare centrale de Luxembourg-ville



Site du nouveau viaduc de Pulvermühle

Projet du nouveau viaduc de Pulvermuehle

Le projet a fait l'objet d'un concours d'ingénieur et d'architecte en 2002.

Le lauréat du concours était le bureau d'études TR-Engineering de Luxembourg associé à l'architecte Galfetti de Suisse.

Les études ont démarré en 2004 avec proposition et vote d'une loi de financement au Parlement Luxembourgeois.

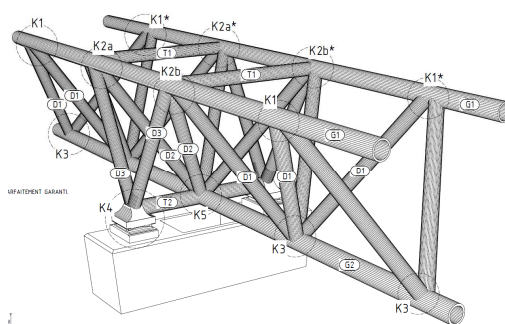
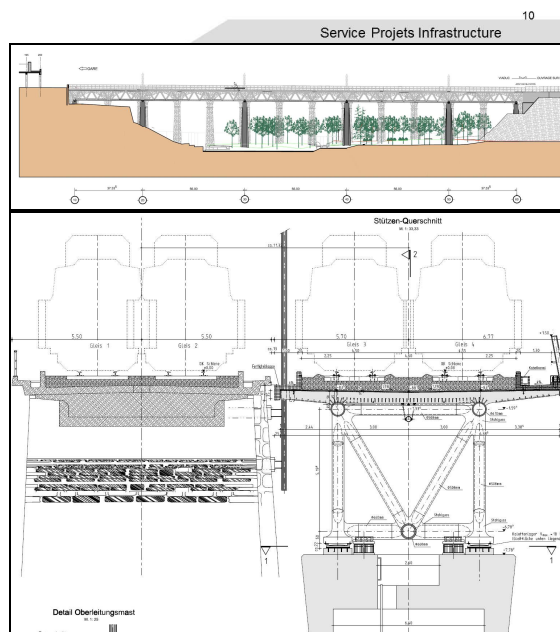
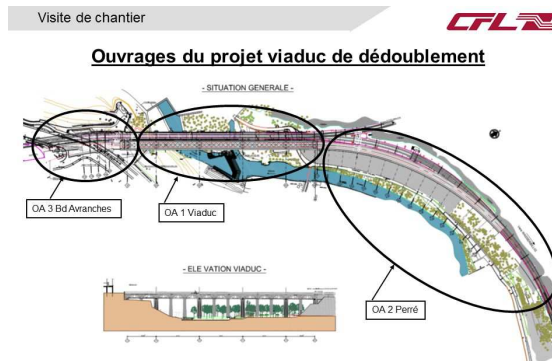
Les demandes d'autorisation ont été introduites en 2006.

Des fouilles archéologiques ont été réalisées en 2007-2008, le projet se situant dans l'emprise de l'ancienne forteresse de la ville de Luxembourg.

Les travaux de génie civil ont été mis en soumission après appel à candidature au JOUE et adjugés en 2009 à l'AM Bageci/Galère/CLE/Aeltermann.

Les travaux ont démarré sur site a eu lieu mi-2009.

Les manifestations régionales



Plan de principe

OA1 - Viaduc de dédoublement



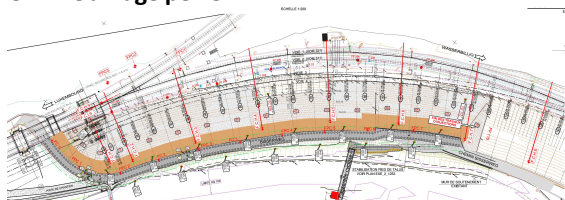


Travaux d'injections



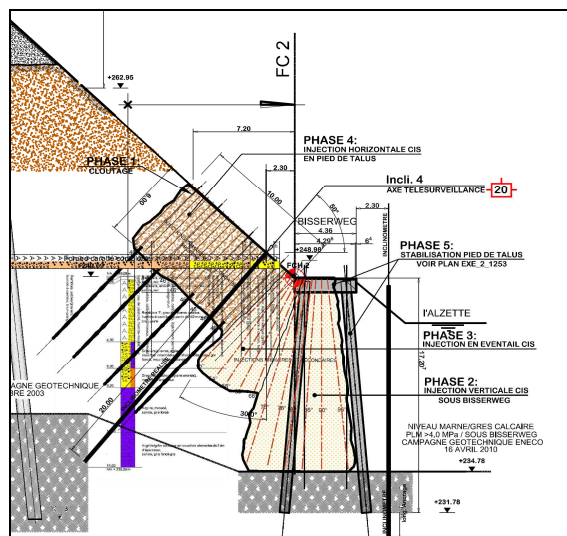
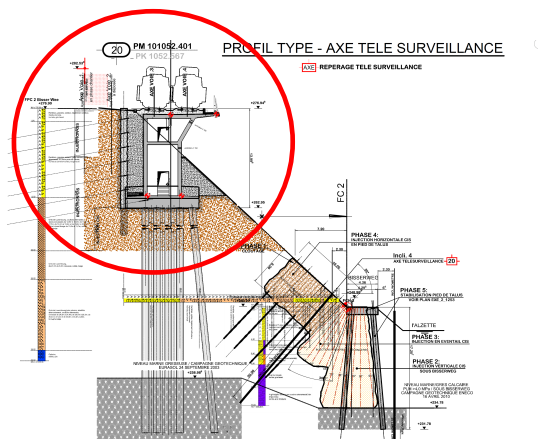
Travaux de pieux métalliques

OA2 : Ouvrage perré



Phase 1 : Injection dans le pied du perré et réalisation de pieux métallique

Phase 2 : Stabilisation de la voie et blindage



Ligne ferrée en crête de perré est prévue d'être maintenue en service au maximum pendant la réalisation des travaux

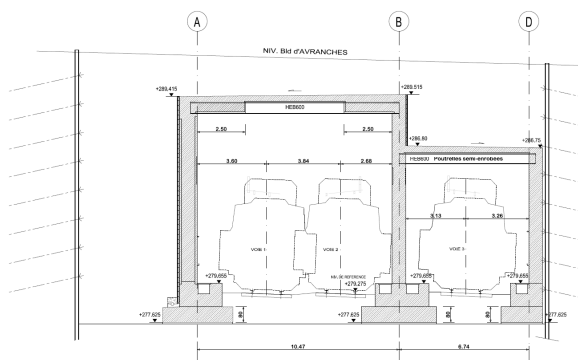
Réalisation en 2013 (consignation voie ferrée de février à juillet)

- des injections sous voie car risque de déformation de la voie
- de la dalle sur micropieux (pas d'accès en 2013 pour gros engins).

Réalisation en 2015 (consignation voie ferrée de février à décembre) de la partie caisson dans la zone du raccordement tangentiel.

OA3 : Reconstruction du tunnel Bvd Avranch

Section axe 125



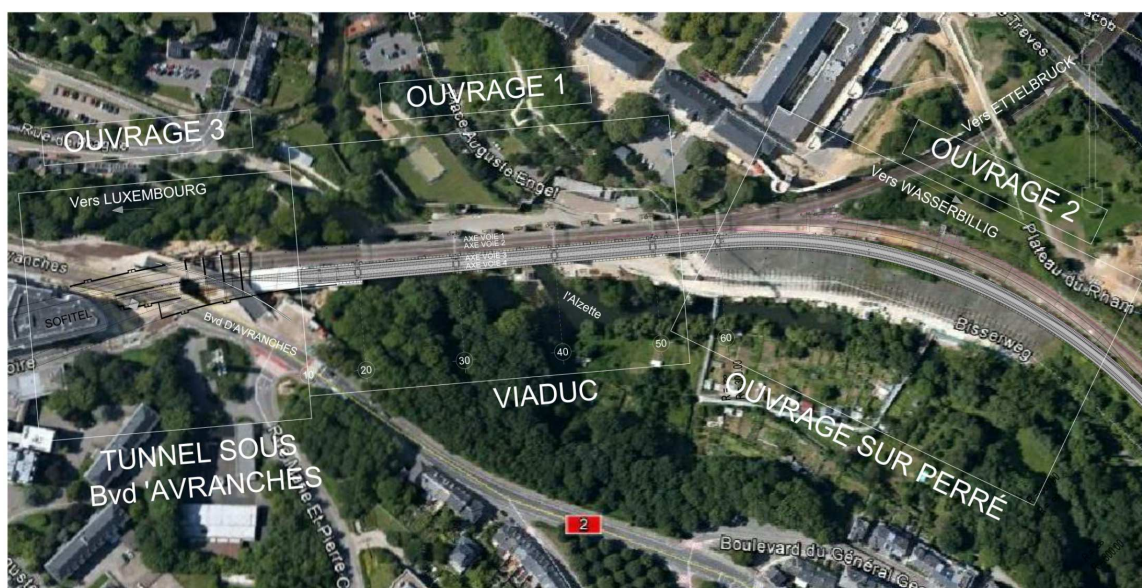
Stabilisation de la tourelle espagnole

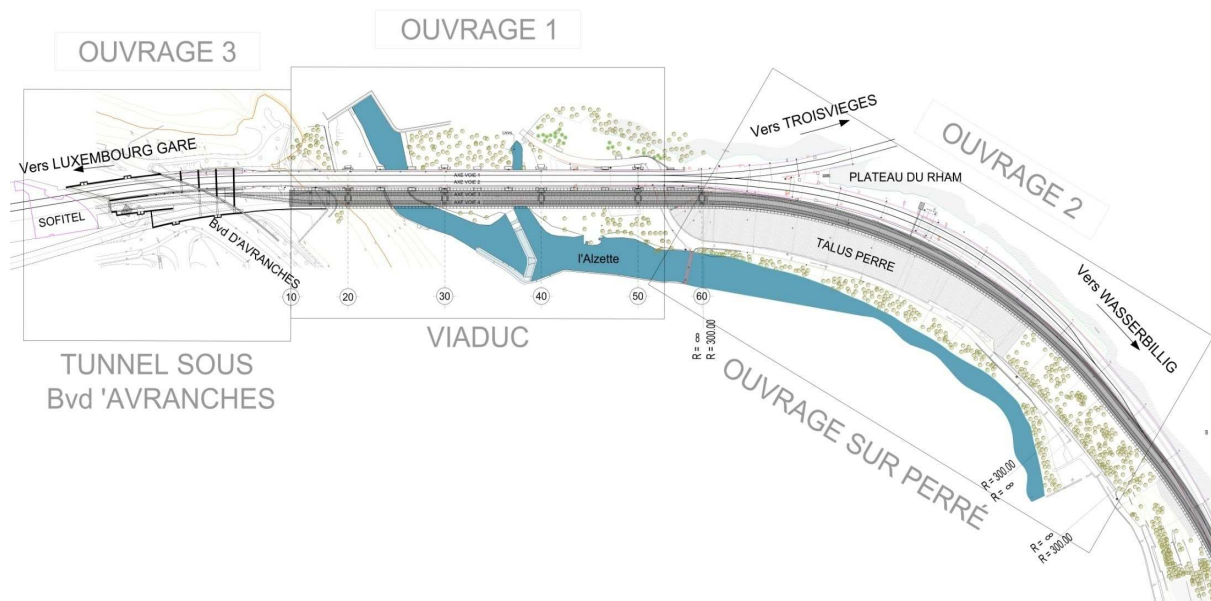
Le viaduc de Pulvermühle

M. Raimundo, TR-Engineering et M. Kemp, Entreprise Galère

Présentation des grandes phases du projet

Situation / Présentation architectural du projet





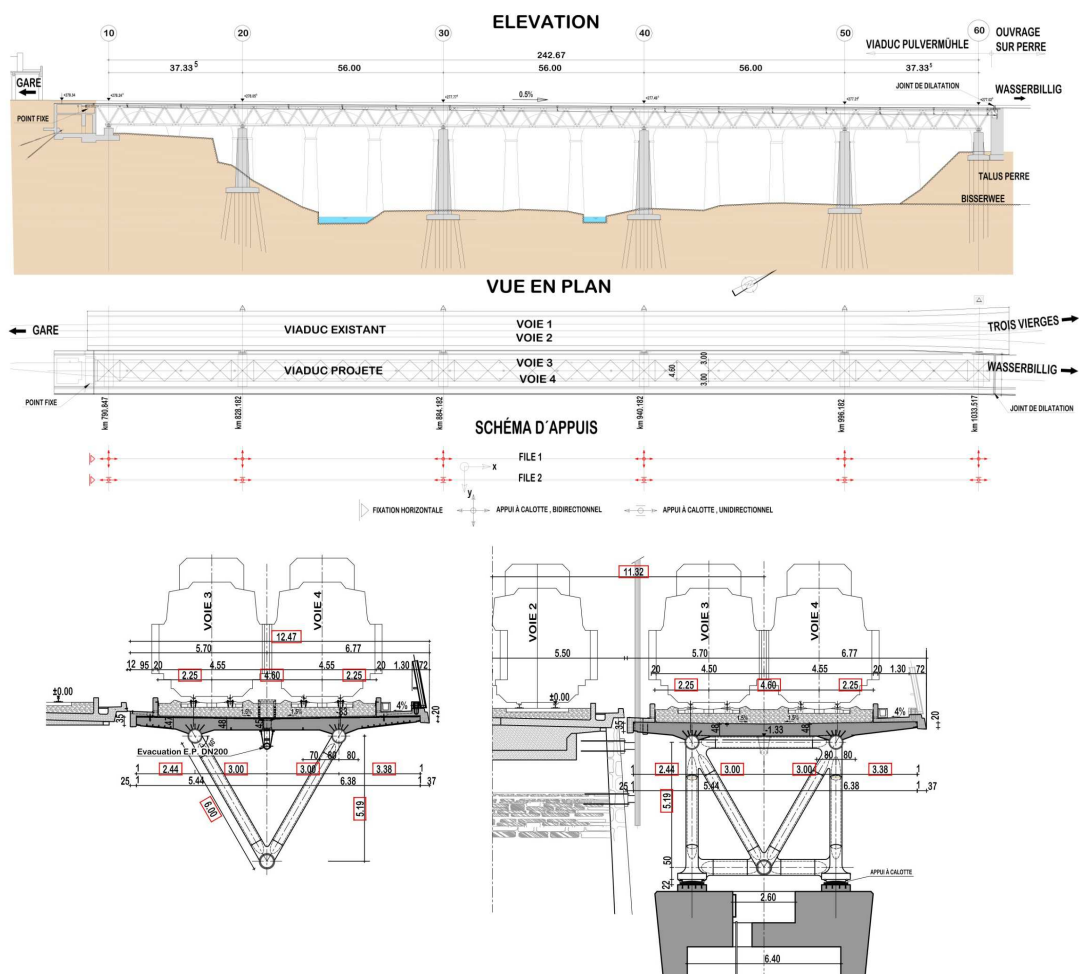
Repérage des ouvrages / Schéma synthétique

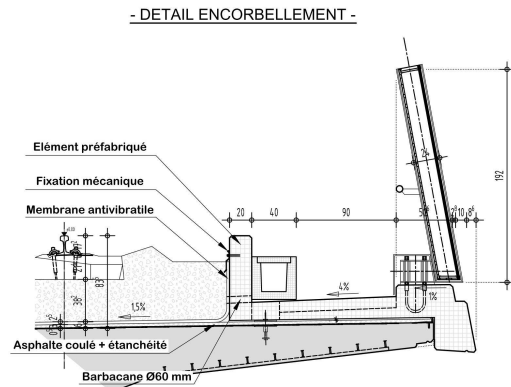
Présentation architecturale du projet



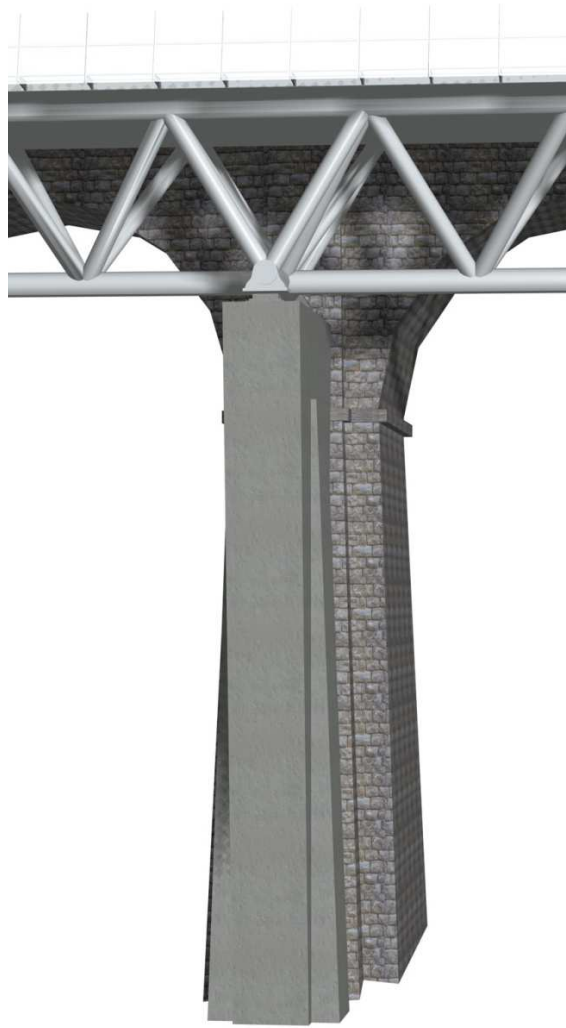


Spécificités de l'ouvrage du viaduc – OA1





Détail encorbellement

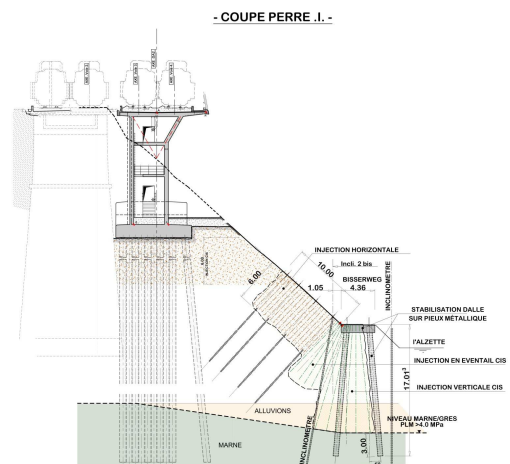


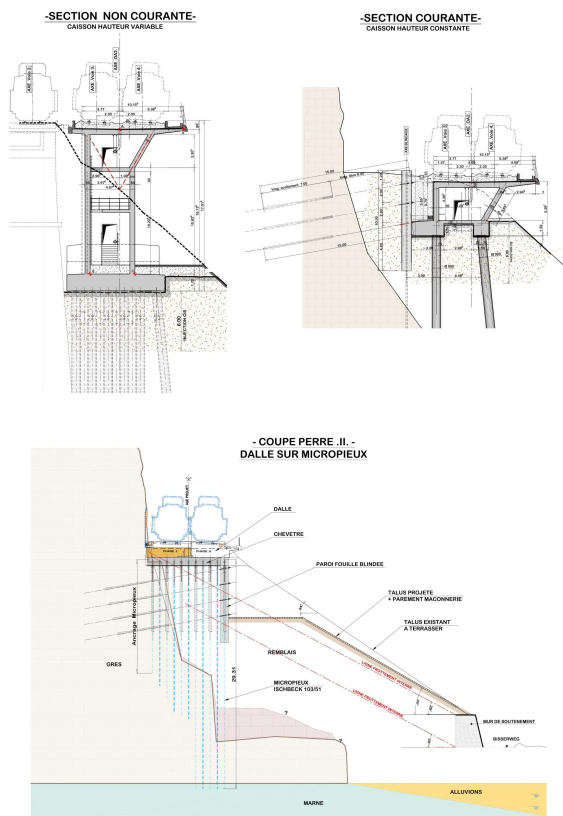
Spécificités de l'ouvrage sur perré – OA2

Ouvrage caisson section non-courante et courante

Stabilisation talus perré

Ouvrage dalle sur micropieux





Les manifestations régionales

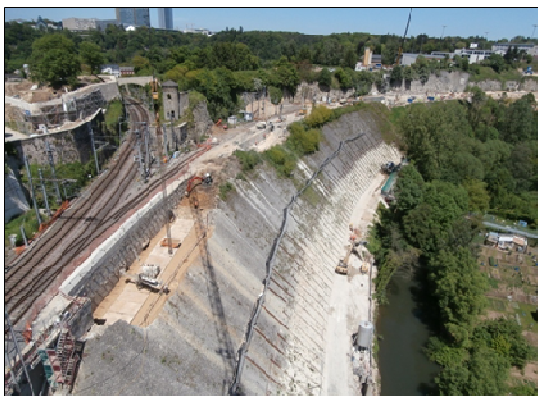
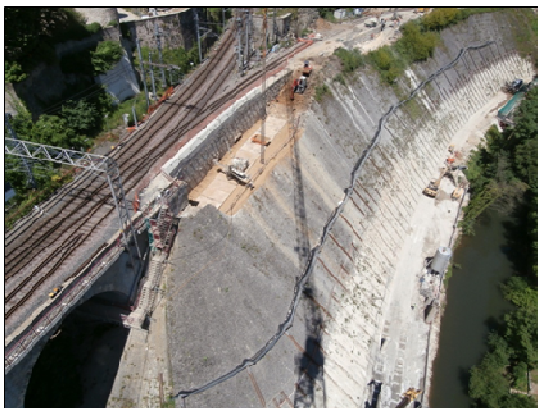


Spécificités de l'ouvrage routier tunnel du bd. d'Avranches – OA3

Ouvrage type cadre ouvert

Reprise en sous-œuvre de la tourelle espagnole

Déviations bd. d'Avranches





Les manifestations régionales



Les manifestations régionales



Cadre géologique et géotechnique

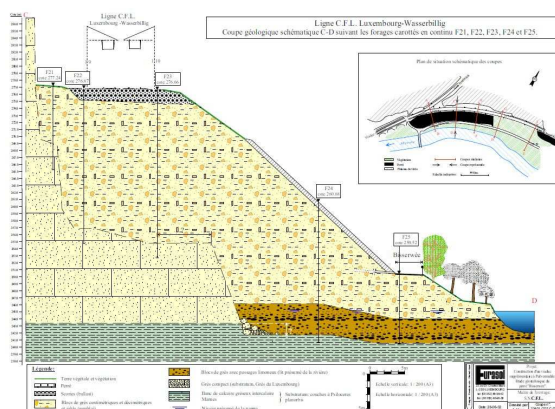
R. Heintz, Eurasol

Situation de l'ouvrage Perré



Campagne géotechnique initiale

- Déblais sablo-rocailleux, lâches, sous le Perré



Campagne géotechnique initiale 2002-2003

Conclusions : Remblai lâche sous Perré déformé ; talus en stabilité limite ; renforcement du pied de talus pour obtenir une sécurité suffisante par rapport à la rupture en phases chantier et service

Stabilisation du pied du Perré par injections : Travaux préparatoires, méthodologie en fonction des pressions interstitielles

La mise en œuvre de colonnes d'injection solides est-elle envisageable ?

Détermination de la porosité du remblai in-situ par la méthode dite du sable



Tests d'injections préalables dans des déblais sablo-rocailleux



Éviter la création d'un volume de mortier liquide trop important lors de l'injection du pied de talus risquant de générer une rupture de pente : surveillance en profondeur par mesures inclinométriques.

Mesures de la dissipation des pressions interstitielles pour la définition des paramètres et interdistances d'injection ; contrôle au cours des travaux.

Contrôle des caractéristiques du sol amélioré

- Carottages
- Enregistrement des paramètres de forage
- Essais pressiométriques
- Essais phicométriques
- Essais d'infiltration

Caractéristiques géologiques et géotechniques pour le dimensionnement des soutènements et fondations

- Résultats pressiométriques, interprétation
- Plans de dislocations ; modèle du massif de grès hétérogène et anisotrope

Conclusions : Ce chantier montre de façon exemplaire les différences extrêmes à ne pas sous-estimer entre :

- la facilité du choix du type de fondation et de son dimensionnement (pieux dans un bi-couche constitué de remblais lâches sur substratum rocheux) et
- les moyens considérables nécessaires pour arriver à la réalisation de ces fondations en termes
 - o de temps
 - o de budget
 - o d'investigations en génie civil et en génie géotechnique

tout en garantissant la sécurité

- des intervenants sur le chantier et
- des installations et du trafic ferroviaire.

Un des garants de cette sécurité est l'auscultation des remblais lâches sous le Perré par mesures inclinométriques.

Instrumentation et auscultation du perré et des remblais lâches sous-jacents de grande hauteur (25-30m)

Surveillance des déformations de surface et en profondeur

K. Cornille-Chini – Eurasol

Surveillance des déformations de surface : suivi topographique

But :

- Surveillance de la topographie lors des travaux
- Constater les déformations survenues lors des travaux

Moyens mis en œuvre :

Installation d'environ 300 prismes sur des profils distants de 3 mètres sur le Perré ;

Les manifestations régionales

Installation d'une paire de prisme toutes les 5 traverses sur les voies ;

Installation de tachéomètres permettant le relevé de la position de l'ensemble des prismes.

Surveillance des déformations du sous-sol : suivi inclinométrique

Objet : Surveillance de la déformation du sous-sol constitué de remblais sablo-rocailleux lâches sous le Perré, d'une hauteur de l'ordre de 25-30 m, pentu à environ 45° et attenant en crête à la plate-forme ferroviaire.

But :

- Anticiper l'amorce de glissement « en grand » lors des travaux
- Garantir la sécurité du chantier et des usagers des chemins de fer

Moyens mis en œuvre :

Installation d'inclinomètres inclinés et verticaux en pied de Perré : 9 électroniques mesurés toutes les heures et 8 standards en doublon mesurés manuellement ;

Installation d'inclinomètres verticaux dans la berge : 7 standards et 2 électroniques en doublon ;

Installation d'inclinomètres standards verticaux dans la pente du Perré : 4 en fonction et 2 en cours d'installation ;

Installation de 9 inclinomètres standards verticaux au niveau de la plate-forme ferroviaire

Remarque :

Les inclinomètres standards en doublon des inclinomètres électroniques ont été installés de manière à pallier à une défaillance de l'électronique et de permettre ainsi la continuité des travaux sous surveillance inclinométrique. L'expérience a montré que cette précaution s'est avérée fort utile.

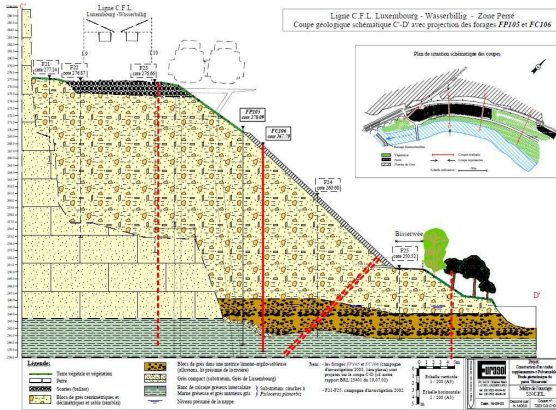


Doublon : tube d'inclinomètre standard (rouge avec couvercle) et d'inclinomètre électronique enfilé dans le PVC blanc Ø intérieur 27 mm

Les manifestations régionales

En cas de dépassement d'un de ces seuils, il est préconisé de déclencher la procédure d'arrêt des travaux.

Contrôle de la verticalité des micro-pieux supportant la paroi de soutènement de fouilles blindées et la dalle ferroviaire entre les PK1300-1400



Instrumentation de chantier : vue en coupe

Principes d'installation, de fonctionnement, de mesure



Seuils de déformation

Dans le cadre des travaux d'injections en pied de Perré et dans le Bisserwee, des seuils de référence en-dessous desquels les déformations mesurées sont acceptables ont été préconisés par la S.N.C.F. (Avis de septembre 2011).

Suivant les recommandations de la S.N.C.F. qui intervient pour la première fois dans une étude mettant en œuvre un remblai sablo-rocailleux de grande hauteur tel que rencontré dans notre cas, les seuils de référence sont :

- Inclinomètres électroniques : 3 mm / 24h ou 6 mm / 7j
- Inclinomètres standards : 20.10-4 rad / 24h ou 40.10-4 rad / 7j

Principes d'installation et de mesure

Introduction d'un train de tubes inclinométriques centrés dans l'âme creuse de micro-pieux supportant la paroi de soutènement des fouilles blindées ou dans le tubage des forages de micro-pieux supportant la dalle ferroviaire entre les PK1300-1400.

La mesure est ensuite réalisée comme une mesure standard.

Seuils :

Les seuils sont définis par le bureau de génie civil en fonction :

- de l'interdistance min. acceptable à la base entre micro-pieux, interdistants en tête de 1,5 m;
- de l'interdistance minimale acceptable à la base entre micro-pieux et pieux Ø900.

Déviations maximales acceptables à la base :

Pour les micro-pieux des fouilles blindées : 60 cm pour la phase 1 et 18 cm pour la phase 2;

Pour les micro-pieux supportant la dalle ferroviaire entre les PK1300-1400 : 30 cm.

Conclusions

Les mesures inclinométriques permettent :

Le contrôle direct des déformations du remblai lâche de grande hauteur sous le Perré, en l'occurrence en phase de chantier pour anticiper l'amorce d'une rupture de pente ;

Le contrôle indirect, en fonction de l'ampleur des déformations générées, de l'acceptabilité, des moyens et méthodes mis en œuvre sur le chantier en général et en particulier, par exemple le phasage des fouilles blindées en interdistance et en profondeur, les paramètres et interdistances d'injections des colonnes solides, la méthode de forage des micro-pieux toujours dans le but d'assurer la sécurité des intervenants sur le chantier et des installations et du trafic ferroviaire.