



GC2015 – ARCHITECTURE ET PAYSAGE

18 MARS 2015

LE MÉMORIAL INTERNATIONAL DE NOTRE DAME DE LORETTE

SOMMAIRE

- 1 / Présentation du projet
- 2 / Le choix du BSI®
- 3 / Etudes d'exécution
- 4 / La fabrication des éléments BSI®
- 5 / Les travaux sur site
- 6 / Les particularités de la précontrainte
- 7 / Quelques chiffres
- 8 / Les intervenants



1 / Présentation du projet

A/ Contexte

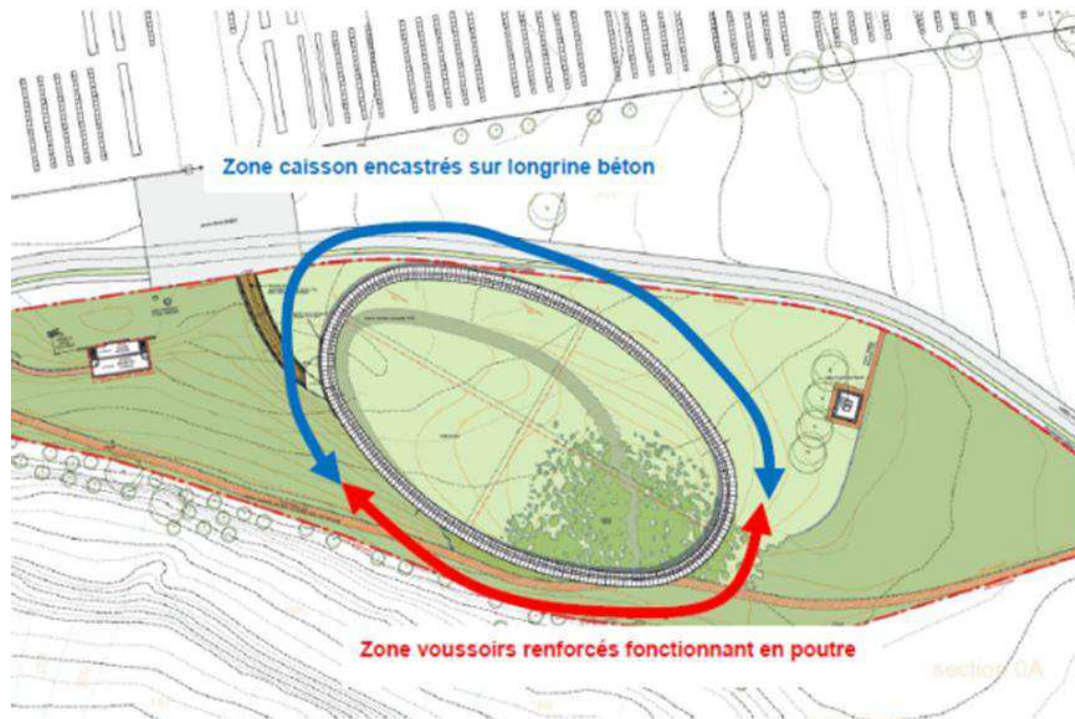
- Pour commémorer le centenaire de la première guerre Mondiale, un Mémorial International vient d'être construit près d'Arras sur le plateau de Notre Dame de Lorette, qui abrite la plus grande Nécropole Nationale.
- Ce monument (construit par les équipes EIFFAGE TP) rend hommage à la fois aux vaincus et aux vainqueurs.
- C'est l'un des plus grands mémoriaux au Monde, puisqu'il réunit 579 606 noms de soldats tombés sur le sol de la région Nord – Pas de Calais , présentés par ordre alphabétique, sans distinction de nationalités, amis et ennemis d'hier mélangés.



L'ouvrage :

- Le mémorial est en forme d'anneau elliptique de 129,00 m par 75,00 m.
Les ouvrages tous extérieurs sont réalisés en béton armé ou en Béton Fibré à Ultra hautes Performances (BFUP).
L'ouvrage est décomposé comme suit:
 - Un anneau pseudo-elliptique de 328 m de périmètre, composé de voussoirs en BFUP avec 2 rayons de courbure différents (environ 101 m et 27 m):
 - Une partie de l'anneau est conçue comme une poutre continue sur 4 appuis de 125 m de longueur. Cette zone est renforcée et précontrainte. Ses piles sont fondées sur 4 pieux chacune.
 - La partie de l'anneau simple (non renforcée, de 203 m de longueur) est fondée sur des fondations par pieux, reliées par des longrines .
 - L'accès nord ouest est desservi par une tranchée semi enterrée en forme de U (Radier et voile en béton armé). Un petit local technique est localisé à la jonction entre trémie et anneau.

MÉMORIAL DE NOTRE DAME DE LORETTE



2/ Le choix du BSI®:

- Dans leur projet, l'Architecte Philippe PROST et son Maître d'Œuvre Technique C&E Ingénierie avaient retenu un BFUP.
 - Les caractéristiques mécaniques de ce matériau permettent de :
 - *Diminuer les sections des ouvrages donc d'alléger la structure.*
 - *Répondre a certaines sollicitations mécaniques*
 - *Limiter l'entretien des ouvrages dans le temps.*
 - La qualité des parements des ouvrages permet d'économiser l'application de revêtement de type peinture ou anti graffiti.
-
- Le projet a été mis à l'appel d'offres en Avril 2013, en lot séparés.
 - Le groupe Eiffage a remis une offre intégrée pour le lot 1 Gros Œuvre Etendu. Son offre propose le BSI®, BFUP breveté par Eiffage.

3 / ETUDES D'EXECUTION

- Démarrage des études
 - Mise en place cellule interne de suivi de projet
 - Choix du corpus réglementaire
 - Modification de la conception des appareils d'appuis
- Fonctionnement de la structure
 - Effet de la courbure
 - Evolution du projet en vue de sa justification
 - Effets locaux autour des fenêtres de vue
- La 3D en phase d'exécution

Mise en place cellule interne revue de projet

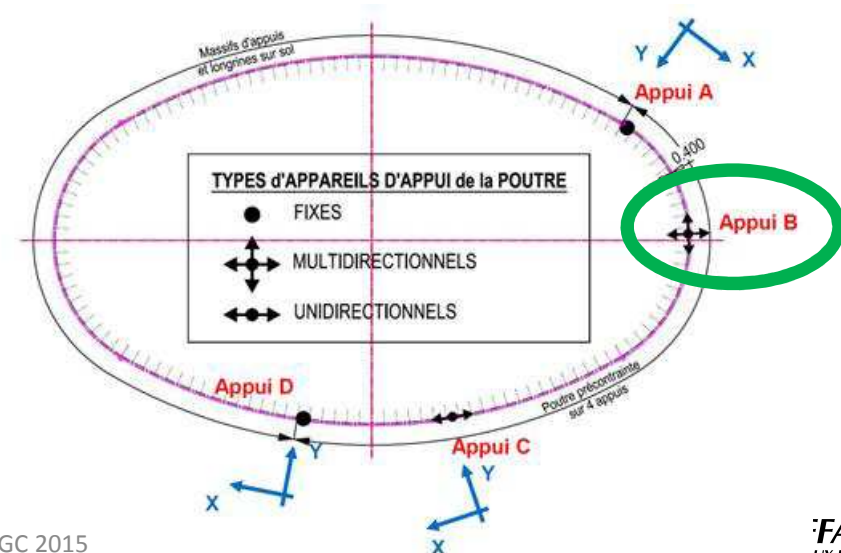
Mission de contre-calcul confiée au Cerema Sourdun

Volonté de l'entreprise d'utiliser le nouveau règlement BFUP 2013

- Corpus réglementaire homogénéisé EC2 / EC7 / EC8 + Recommandations AFGC de 2013 sur les BFUP
 - Maître d'œuvre est d'accord s'il n'y a pas de surcoût
 - Le bureau de contrôle ne connaissait pas ce texte et demandera l'appui d'un expert afin de ne passer par la procédure ATEX
 - Difficulté de classement de la structure Pont ou Bâtiment ?

Modification du schéma statique de l'ouvrage

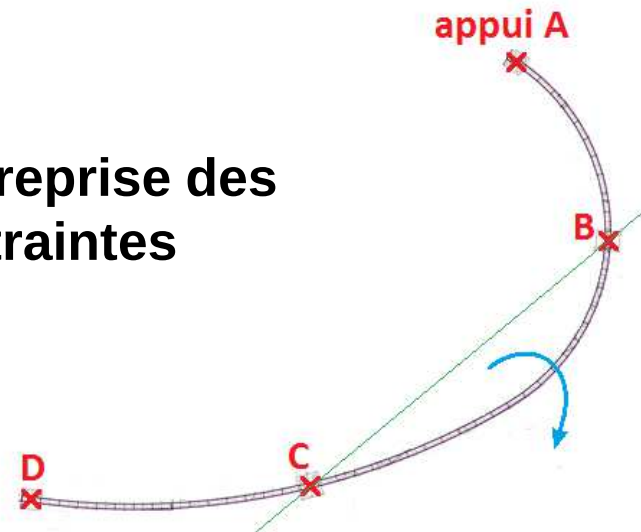
- Conception de l'appui B
 - Appui à pot multidirectionnel



Fonctionnement de la structure

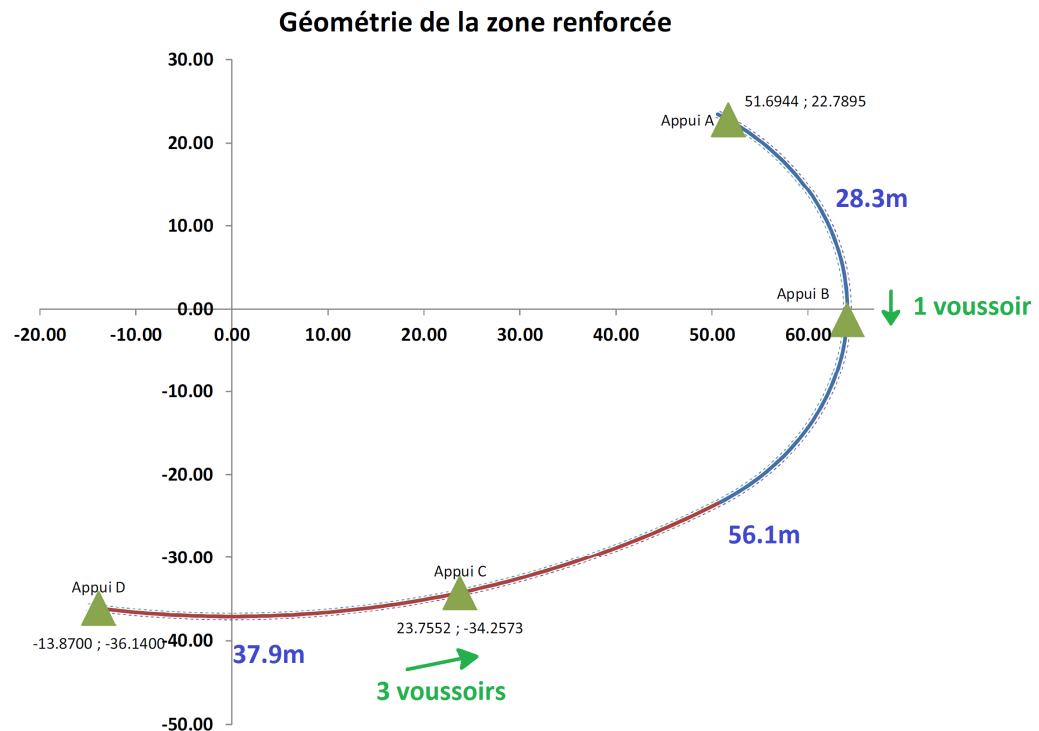
- Poutre courbe à 3 travées soumise à :
 - Poids propre + Equipement
 - Charges piétons
 - Charges climatiques (Neige / Vent / Température)
- Prise en compte de la torsion naturelle due à la courbure

La précontrainte est dimensionnée par la reprise des contraintes de cisaillement et non de contraintes normales dues à la flexion



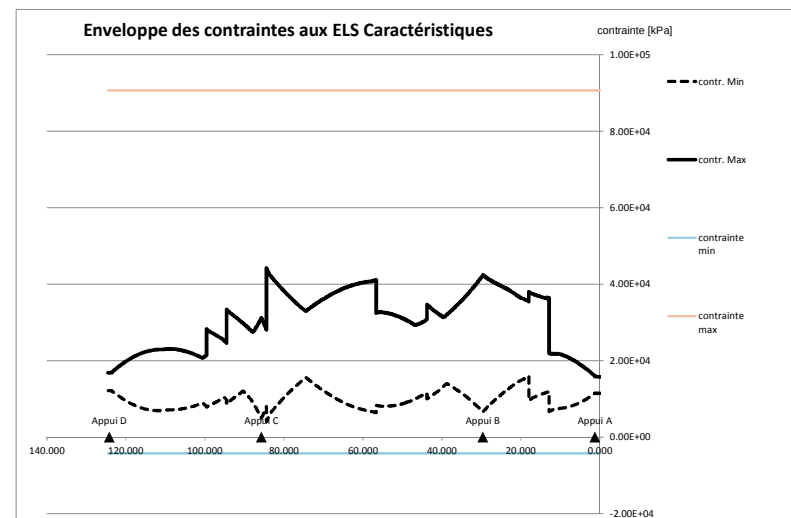
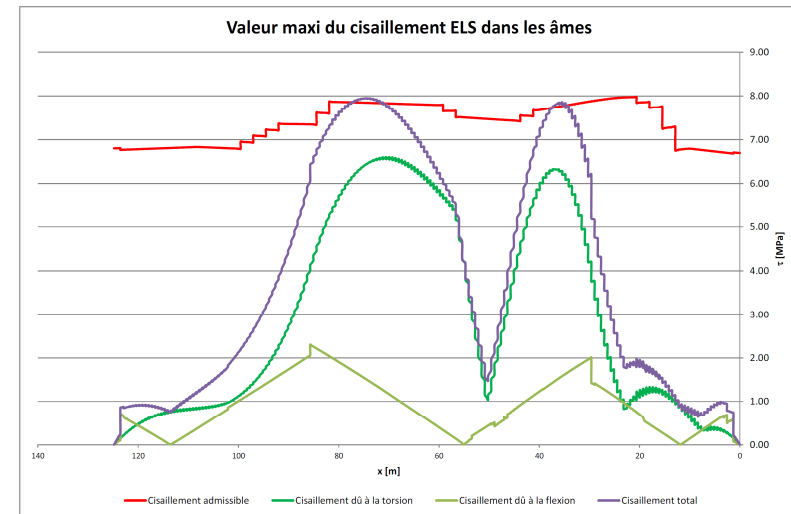
Modifications apportées pour la justification de la structure

- Déplacement des appuis B & C
 - Réduction de l'effet de la torsion naturelle de la poutre
- Mise en place des ancrages des câbles courts à l'intérieur de la section
 - Suppression pic de torsion dû à l'ancrage



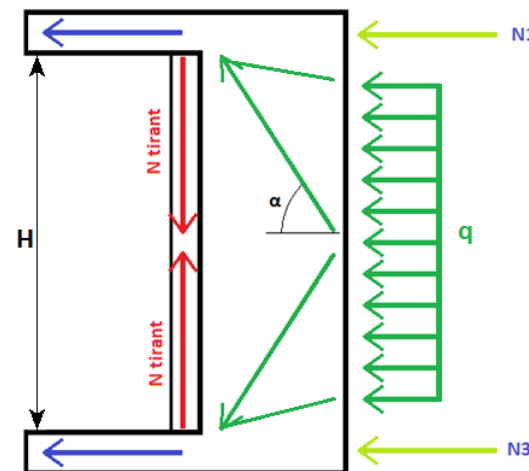
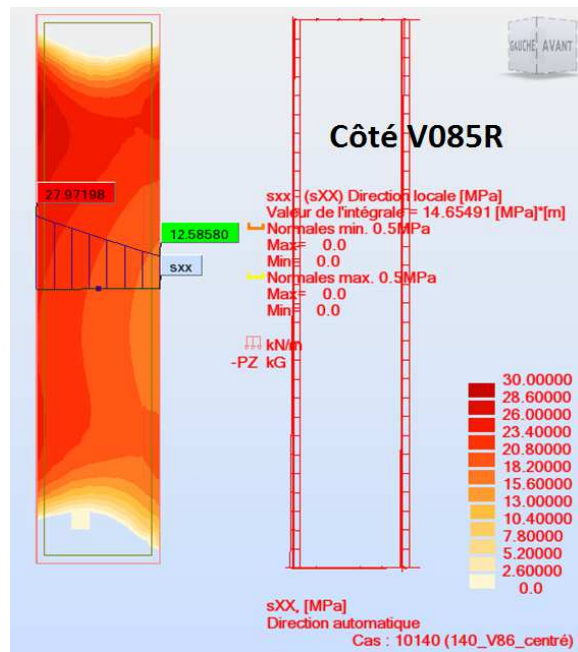
Contraintes finales dans la structure

- Contraintes de cisaillement
 - Au droit des pics de torsion, la contrainte de cisaillement dans les âmes est égale à la limite de résistance de la section
- Contraintes normales
 - Compression nettement inférieure à la limite du BSI®
 - Reserve de précontrainte au niveau des fibres faiblement comprimées



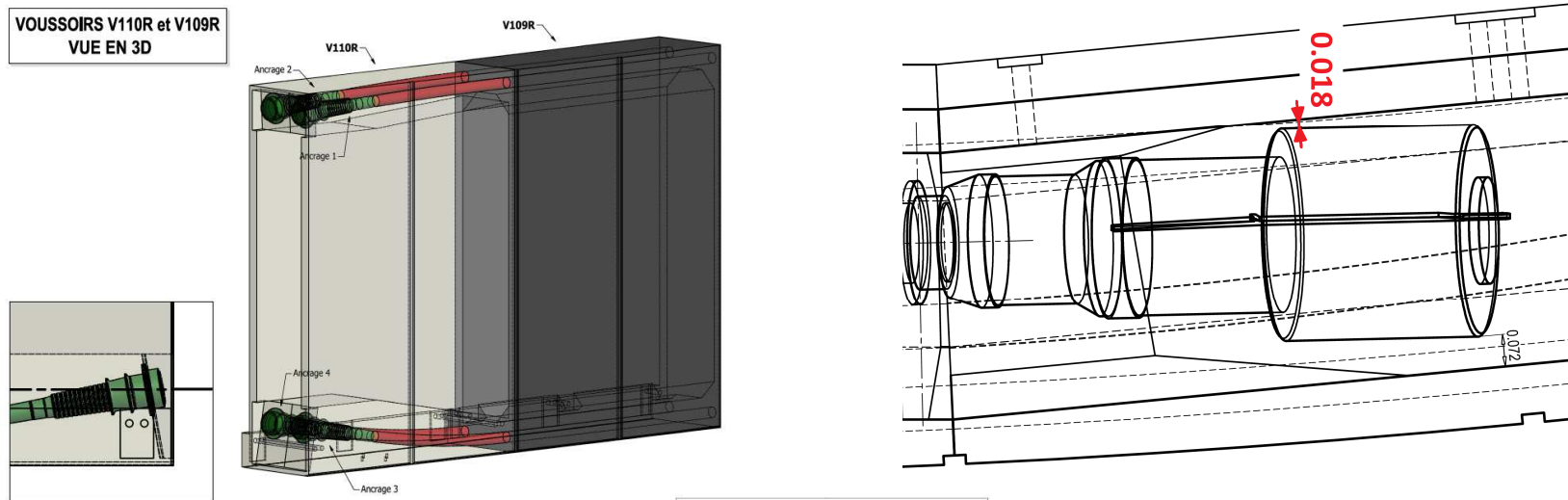
Incidence des fenêtres de vue

- Modélisation 3D locale
- Calcul simplifié à l'aide d'un modèle bielle tirant

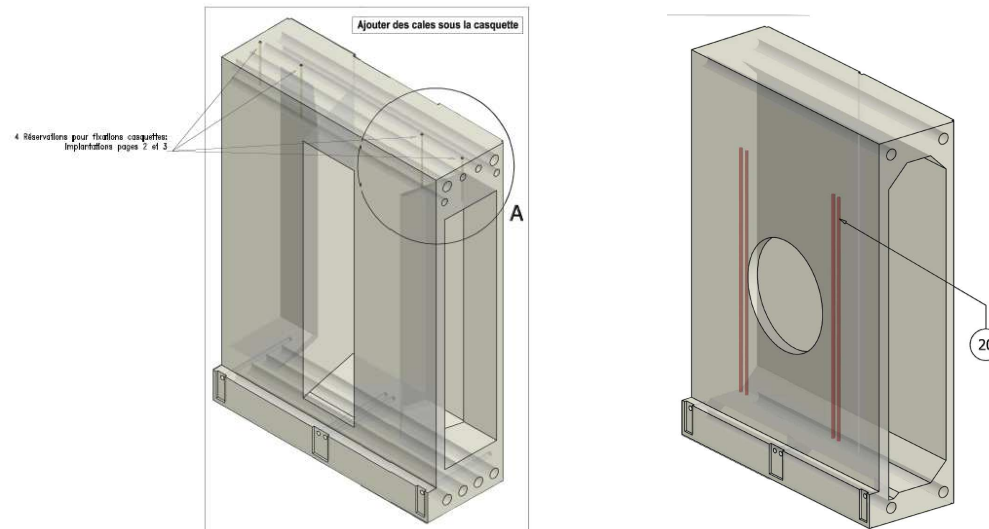


- Le BSI® reprend:
 - 100% de la compression dans les linteaux (80MPa !)
 - 20% de la traction dans les parois (ajout 14 HA 32 de part et d'autre)

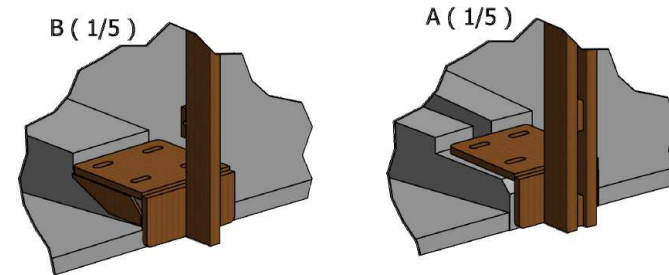
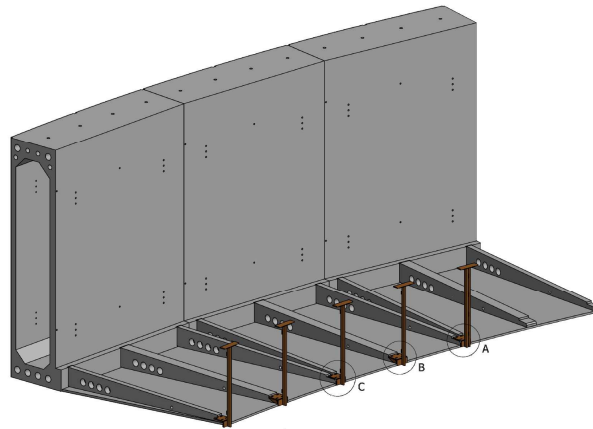
- Validation de la mise en place des vérins à l'intérieur de la section



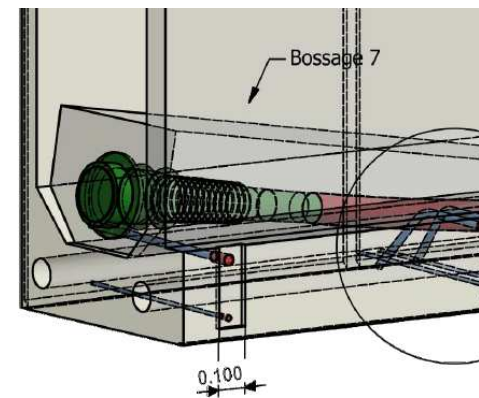
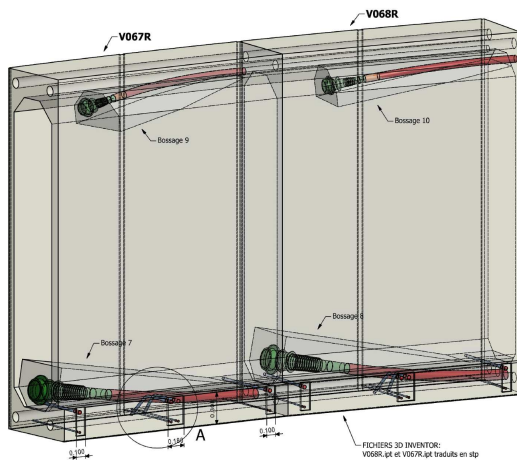
- Voussoirs particuliers



- Synthèse des inserts demandés par lot N°2



- Echanges avec le fabricant de coffrage

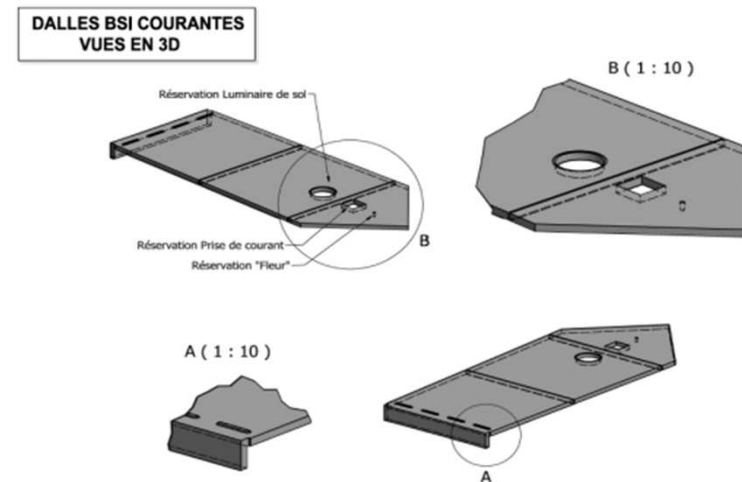
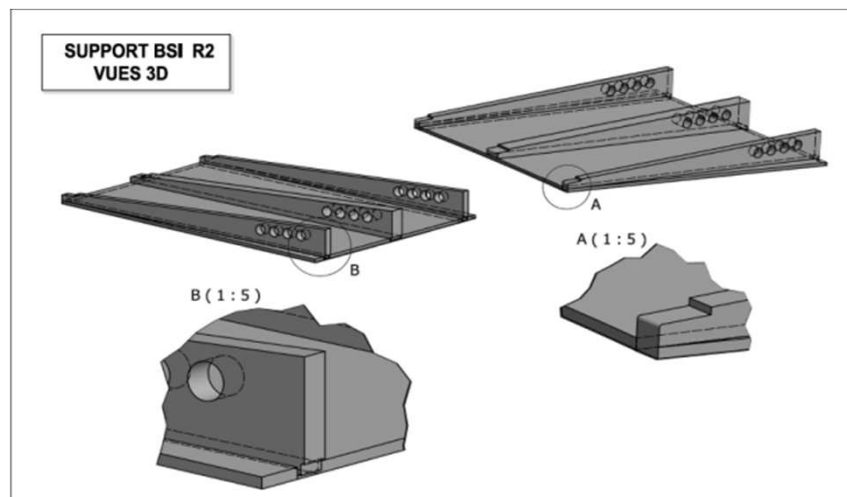
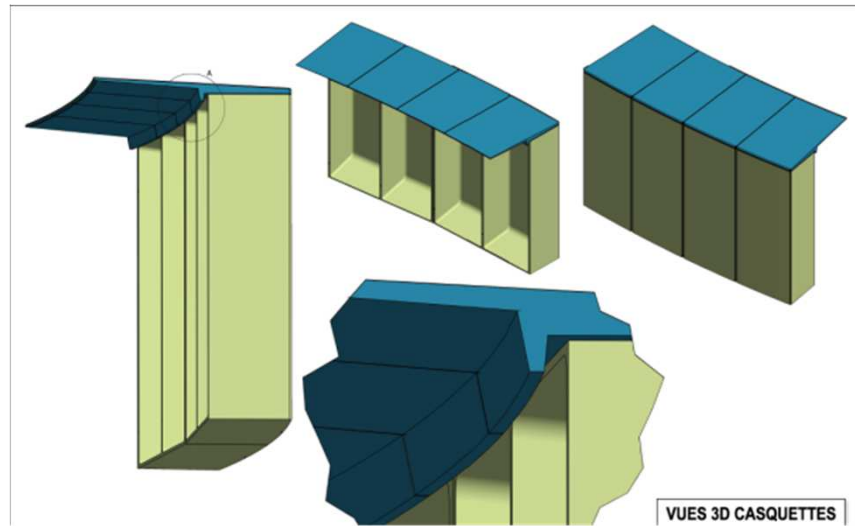
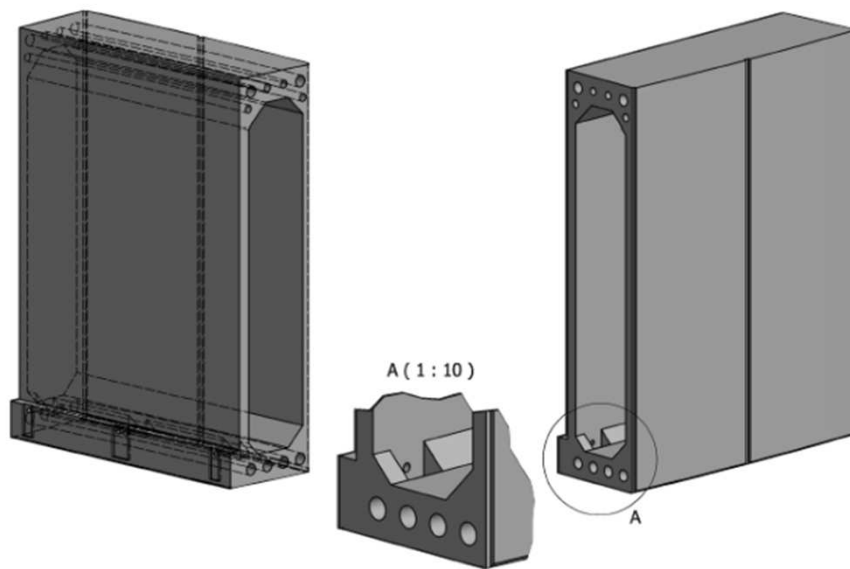


4 / Les ouvrages BSI®

- Le département **BSI®** d'Eiffage TP a produit les éléments en BFUP (avec son partenaire préfabricant AAB situé à MORMANT (77)) :
- Les ouvrages sont constitués de :
 - **122 Voussoirs :**
 - 73 Voussoirs simples de dimensions 3,19m * 2,51m * 0,80m
 - 49 Voussoirs renforcés de dimensions 3,45m * 2,52m * 0,80m, certains pesant près de 10 tonnes
 - **256 Casquettes supérieures à raison de 2 unités par voussoirs**
 - **768 Dalles de sol**
 - **49 Supports de galerie pour pose de dalle (1u par voussoir renforcé)**
 - Chaque famille de pièces est produite suivant les 2 rayons de calepinage : R1 = 101,0792 m et R2 = 27,5353m



MÉMORIAL DE NOTRE DAME DE LORETTE



MEMORIAL DE NOTRE DAME DE LORETTE



5 / Les travaux sur site

Les fondations profondes:

- Réalisation par FRANKI Fondations de 48 pieux de type tarière creuse sous les 170 ml de longrine courbe et 16 pieux sous la zone précontrainte (4 piles).
- Les pieux sont armés, de hauteur +/- 10 m et de diamètre 52 à 62 cm

Les massifs et longrines

- Les massifs isolés ont été réalisés de façon traditionnelle en utilisant des coffrages manu-portables (HARSCO).
- **Les longrines coulées sur place:**
 - Les armatures ont été fabriquées puis livrées par l'atelier d'armatures Eiffage TP de Templemars (Lille).
 - Ces longrines sont courbes et présentent une densité d'armature de 280 kg/m³ en moyenne.
 - Coffrage traditionnel avec des panneaux manu-portables.
 - Plus de 500 tiges d'ancrage ont été implantées pour fixer les voussoirs caissons sur les fondations (l'implantation a été faite au tachéomètre afin d'assurer le parfait assemblage des voussoirs simples)

MÉMORIAL DE NOTRE DAME DE LORETTE



Les consoles béton au droit des voussoirs simples:

- Préfabrication sur site des supports de dalle
- Pose et clavetage au droit des longrines



La tranchée d'accès:

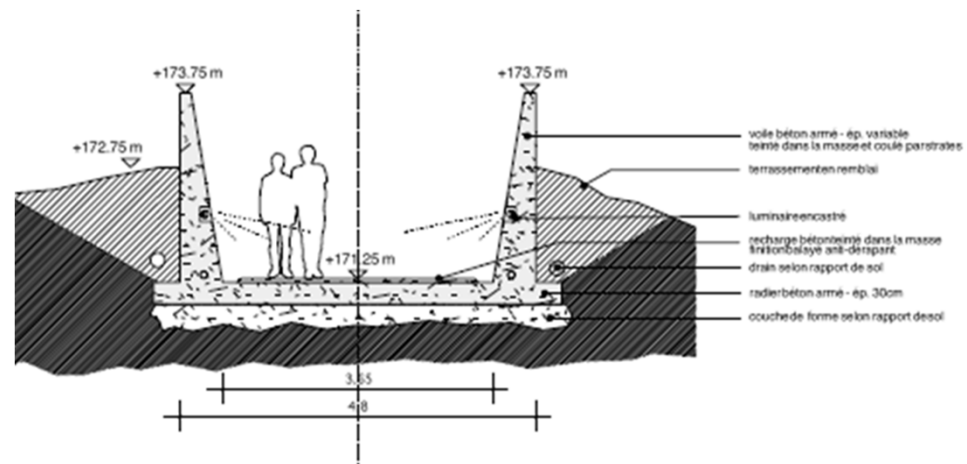
- La volonté de Philippe PROST était de rappeler la relation « terre-homme » en évoquant une tranchée de 14-18.

Suite aux différents degrés d'inclinaison et suivant les différents rayons, nous avons privilégié un coffrage bois traditionnel coté intérieur et un coffrage type banche coté extérieur.

La finition des parements est bouchardée (action manuelle)



MÉMORIAL DE NOTRE DAME DE LORETTE



☰ La pose des ouvrages BSI®:

➤ La pose des voussoirs renforcés

- Implantation des ouvrages par un géomètre expert
- Fabrication d'un palonnier à poulie (6 points) pour assurer le basculement des pièces.
- Préparation de la zone d'étalement (Grave, BP, étalement)
- Déchargement, manutention et pose à la grue de 70 t
- Encollage puis assemblage
- Réglage définitif à l'aide des tiges de brelage et du guide fixé sur le platelage.



MEMORIAL DE NOTRE DAME DE LORETTE

- **Les supports de galerie**
 - Implantation des supports
 - Réglage de la sous-face des zones d'étalement
 - Déchargement, manutention et pose à la grue de 70 t
 - Assemblage à l'aide de la grue
 - Réglage définitif à l'aide des tiges d'ancrages et clavetage



MEMORIAL DE NOTRE DAME DE LORETTE

➤ Les casquettes

- Implantation des supports
- Pose à la grue avec élingues.
- Réglage et fixation à la nacelle
- Mise en place des joints d'étanchéité.



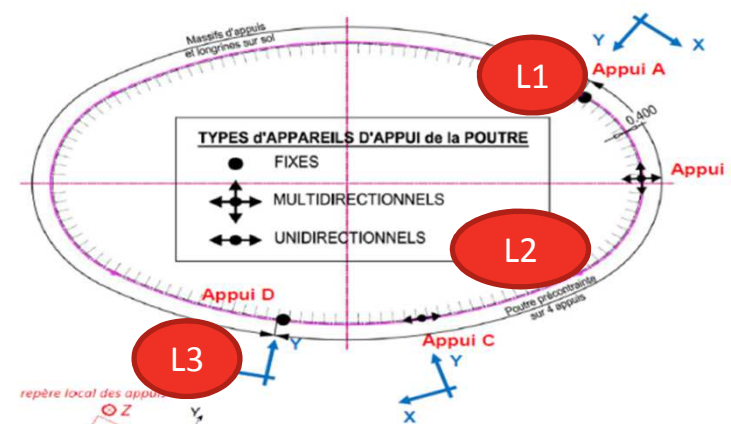
➤ Les dalles de sol

- Préparation du calepinage
- Pose et fixation des cales
- Pose des dalles au chariot élévateur + élingues.
- Réglage altimétrique et réglage des joints



6 / Procédure d'exécution de la précontrainte

- La poutre précontrainte se définit comme une poutre courbe en caisson 3 travées:
 $L1 = 28,334 \text{ m} / L2 = 56,094 \text{ m} / L3 = 37,872 \text{ m}$
- 4 appuis à pots
 - 2 fixes (A&D)
 - 1 Multidirectionnel (B)
 - 1 Unidirectionnel (C)



Phasage des travaux de précontrainte

- Le système DSI® a été mis en œuvre par les équipes de Viapontis, division d'Eiffage TP.
- Le dimensionnement des câbles de précontrainte est le suivant:
 - 4 câbles principaux de l'appui A à l'appui D en 19T15S : 2 inférieurs et 2 supérieurs
 - 2 câbles à l'intérieur de la poutre en fibre inférieure en 19T15S
 - 4 Câbles à l'intérieur de la poutre en fibre supérieure en 7T15S
- Les ancrages ont été amenés à l'intérieur des caissons afin de diminuer les torsions locales mises en évidence par les contre-calculs du Cerema.
 La difficulté pour la division précontrainte était de savoir amener, déplacer et utiliser les vérins à l'intérieur des caissons qui font à peine 60 cm de largeur.

7 / Quelques chiffres:

- **Planning et événements:**
 - Notification du marché le 28 août 2013
 - Ordre de service le 30 Septembre 2013
 - Démarrage des pieux en janvier 2014
 - Fin du génie civil le 25 Juillet 2014
 - Réception fin Septembre 2014

 - Journée Technique Régionale AFGC Nord – Picardie le 16 septembre 2014
 - Inauguration par le Président F.HOLLANDE le 11 Novembre 2014.
 - Distinction par le Jury de l'Equerre d'Argent le 17 Novembre 2014

- 7500 H de travail en GC (Hors fabrication BSI®)
- 700 M³ de béton mis en place sur site
- 90 T d'armatures
- 1 195 éléments préfabriqués en BSI®
- Plus de 300 Luminaires et plus d'1 km de câbles électriques

8/ Les intervenants Maîtrise d'Ouvrage et Maîtrise d'Oeuvre

- **Maîtrise d'Ouvrage:** Conseil Régional Nord-Pas de Calais
Direction des grands équipements
- **Maîtrise d'Œuvre:** AAPP-Agence d'architecture Philippe PROST
- **Paysagiste :** David BESSON GIRARD
- **Economiste :** Bureau Michel FORGUE
- **Structure :** C&E ingénierie
- **Fluides et HQE:** Bureau Louis CHOULET
- **Artiste lumière:** Yann TOMA – OUEST Lumière
- **Graphiste typographe :** Pierre DI SCIULLO
- **Bureau de contrôle :** BTP Consultant
- **Coordinateur sécurité :** BECS



Les entreprises:

- LOT 1 Groupement EIFFAGE TP & EIFFAGE ENERGIE pour un marché de 3 800 000 € HT

-  (**Génie Civil**)
 Etudes d'exécution par sa Direction des Moyens d'Ingénierie (ex – BIEP)
 Contrôle extérieur des études par CEREMA Sourdun
 1 280 K€
-  (**terrassement et plateforme**)
 1 280 K€
- 
 - Division BSI® (**Fabrication des éléments en BFUP**)
 - Division précontrainte (**Précontrainte de l'ouvrage**)
 2 187 K€
-  (**Courant fort, courant faible, éclairage, alarme...**) 287 K€
- LOT 2 : CITYNOX (Panneaux gravés et gardes corps) 1 139 K€
- LOT 3 : EUROVERT (Aménagement paysager) 494 K€

MEMORIAL DE NOTRE DAME DE LORETTE

☰ Merci de votre attention.



Inauguration par F.HOLLANDE
Le 11 Novembre 2014

