

# JOURNÉE TECHNIQUE :

## Les BFUP en réhabilitation d'ouvrages de génie civil

### Pont de Bourgogne - Réparation des embases des pylônes par BFUP

Jean-Michel ODIN – ARCADIS



ASSOCIATION MONDIALE DE LA ROUTE  
COMITÉ FRANÇAIS



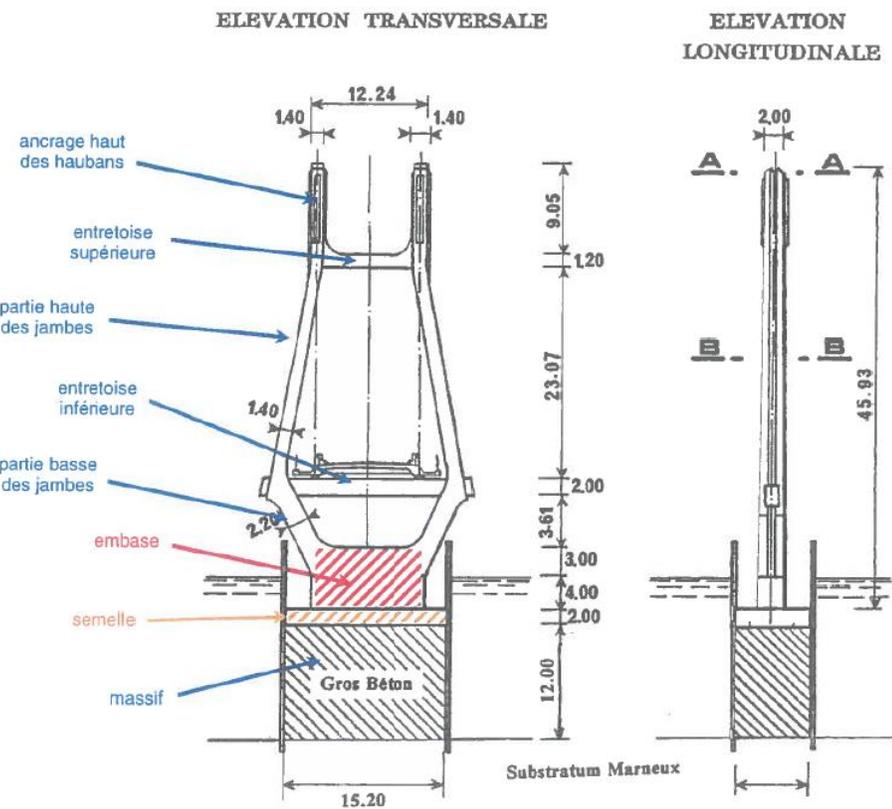
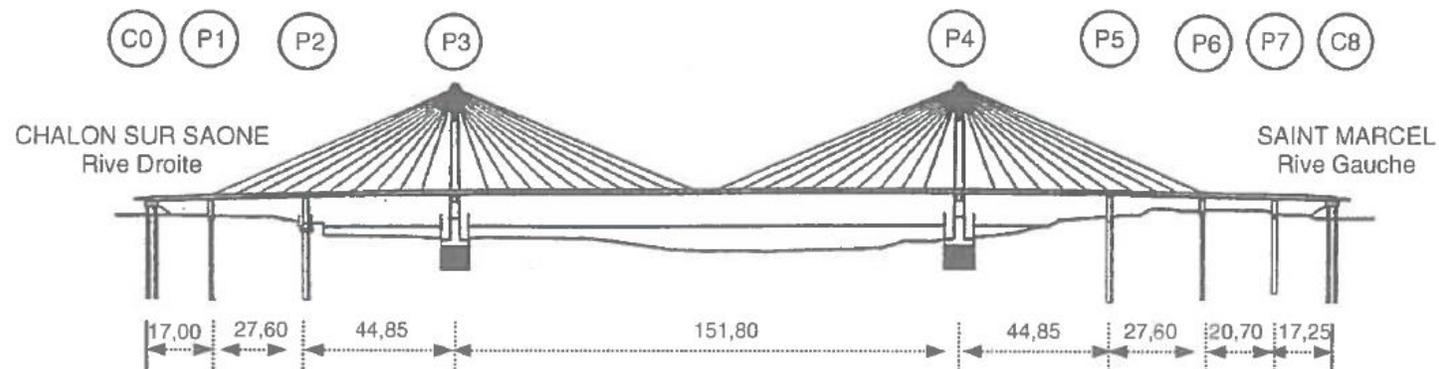
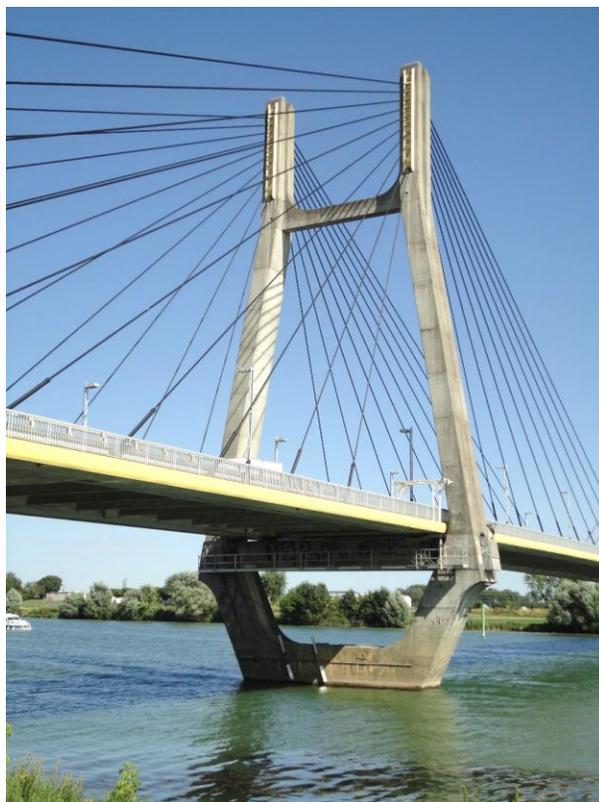
Schweizerische Eidgenossenschaft  
Confédération suisse  
Confederazione Svizzera  
Confederaziun svizra

Office fédéral des routes OFROU

# IMGC

# Présentation de l'ouvrage

- Franchit la Saône au nord de Chalon-sur-Saône
- Construit de 1990 à 1992
- Pylônes en forme de lyre



# Problématique

- 1998 : Fissuration importante sur l'embase des pylônes P3 et P4 révélée lors d'une inspection détaillée



- 1999 : Expertise et contentieux engagés compte tenu de l'âge de l'ouvrage (7 ans après mise en service)
- 2001 : RSI (Réaction Sulfatique Interne du béton) identifiée dans les embases lors de l'expertise par le LCPC
- 2009 : Jugement du tribunal : aucune responsabilité retenue contre l'entreprise (Léon Grosse) et le MOE (DDE). Pas de réparations urgentes.
- 2015 : Décision du département de Saône-et-Loire de mener des réparations de confortement pour pérenniser l'ouvrage

# Problématique

Conclusions **après investigations complémentaires (2016 – 2017)** :

- Entretoises inférieures :
  - RSI inactive
  - Pas de corrosion des armatures
- Jambes :
  - RSI inactive
  - Pas de corrosion des armatures
- Embases :
  - RSI très importante
  - Expansion peu évolutive voir stabilisée
  - Pas de corrosion des armatures
- Semelles :
  - RSI à cinétique lente peu évolutive



# Les acteurs

- Maître d’Ouvrage : département de Saône-et-Loire



- Maître d’Œuvre : groupement



- Entreprise de réparation des pylônes :

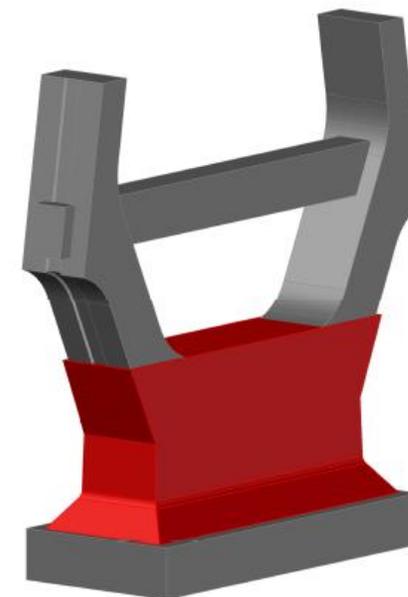


- Fournisseur du BFUP :



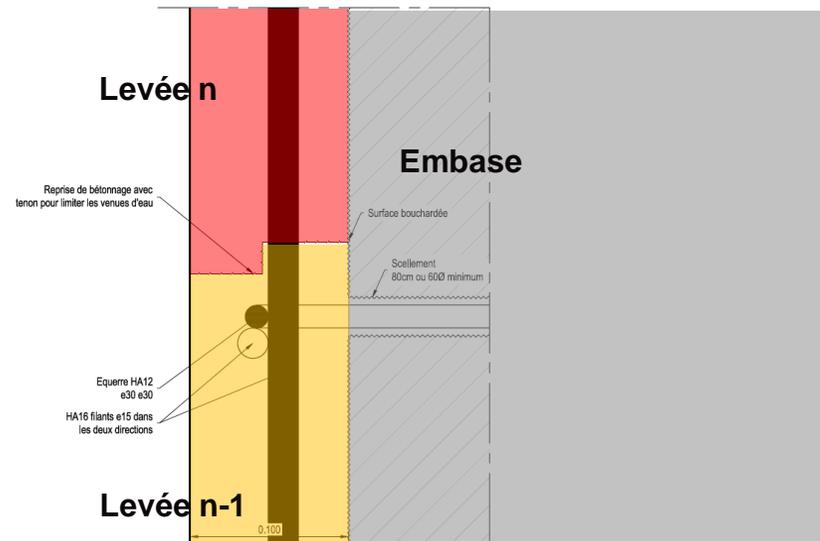
# Projet de confortement des embases des pylônes

- Objectifs à atteindre du point de vue du traitement de la RSI :
  - Limitation des venues d'eau et protection des armatures existantes contre la corrosion
  - Confortement de l'embase
  
- Travaux prévus :
  - Semelle : injection des fissures
  - Embase : corsetage par un béton fibré ultra-haute performance armé (BFUP armé) épaisseur 10 cm
  - Base des jambes et entretoises : injection des fissures et revêtement souple
  
- Avantages du BFUP :
  - Porosité très faible
  - Résistances élevées
  - Forte résistance à l'abrasion



# Projet de confortement des embases des pylônes

- **Conception du corsetage en BFUP en réponse à l'objectif de limitation des venues d'eau :**
  - Le BFUP est intrinsèquement un matériau adapté (utilisé en étanchéité)
  - Limitation des points « faibles » que sont les joints ou reprises :
    - ✓ Solution coulée en place plutôt que préfabriquée
    - ✓ Traitement des reprises de bétonnage : réalisation d'un tenon

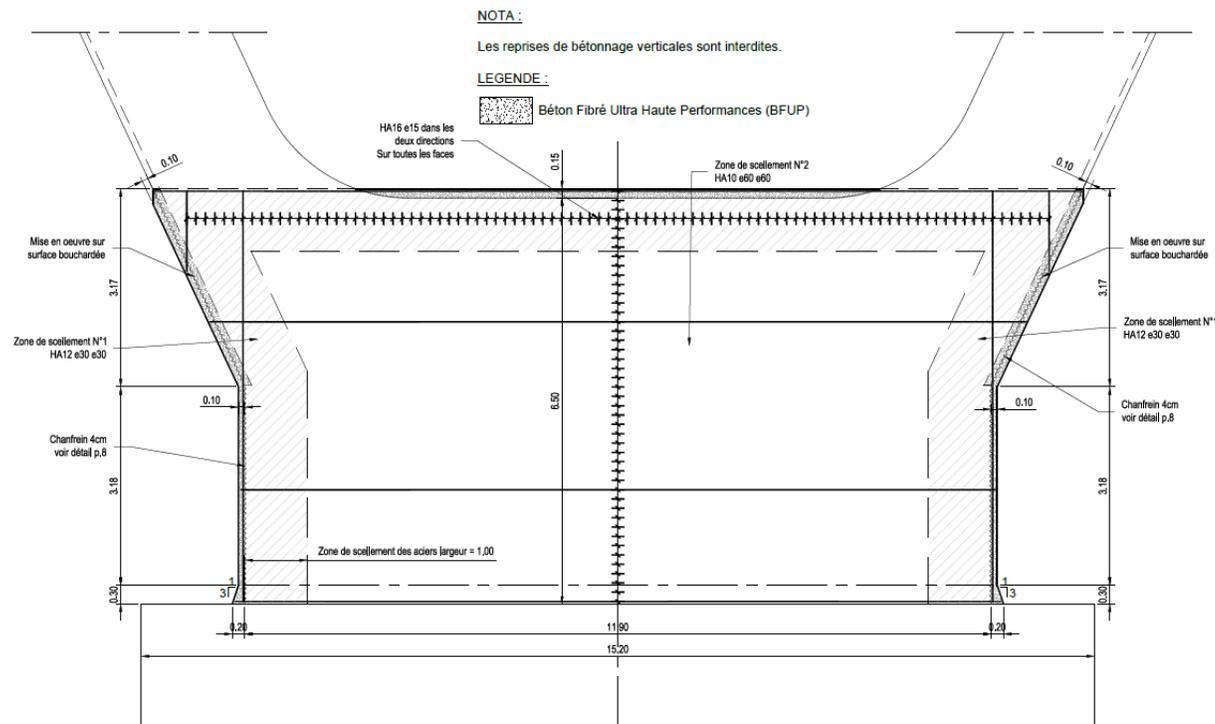


# Projet de confortement des embases des pylônes

- **Conception du corsetage en BFUP en réponse à l'objectif de confortement de l'embase :**
    - Capacité du corsetage à reprendre une partie des charges verticales si nécessaire :
      - ✓ Création d'une structure adhérente et liaisonnée au béton de l'embase : réalisation de nombreux scellements d'armatures
      - ✓ Solution coulée en place plutôt que préfabriquée
      - ✓ Gousset à la base (doublement de l'épaisseur) pour assurer une meilleure transmission de la descente de charge vers la semelle
    - Capacité du corsetage à reprendre un éventuel effort d'expansion de l'embase :
      - ✓ Résistance élevée à la traction et caractère écrouissant du BFUP pour bénéficier d'une résistance post-fissuration
      - ✓ Mise en place d'un ferrailage passif en plus de l'action des fibres
- ⇒ Épaisseur 10 cm sur la périphérie de l'embase et 15 cm sur le dessus de l'embase

# Projet de confortement des embases des pylônes

- **Prise en compte du retrait du BFUP :**
  - Les BFUP font généralement un retrait important
  - Valeur de  $5.5 \times 10^{-4}$  pris en compte en phase conception
  - Dimensionnement de l'accrochage du retrait sur l'embase => scellements d'aciers plus dense



# Projet de confortement des embases des pylônes

- Les contraintes techniques recoupent souvent plusieurs objectifs du projet :

Prescriptions de conception	Étanchéité	Confortement de l'embase	Limitation effet du retrait
Reprises de bétonnage verticales interdites Reprises horizontales avec tenons et mortaises	X	X	
Réservation pour fixation du coffrage interdites	X		
Scellements entre le corsetage et l'existant		X	X
Coulage en place	X	X	
Ferrailage passif redondant et imposé + scellements + bouchardage de la surface		X	X
Gousset en partie basse		X	
Caractère écrouissant T3	X	X	X

## Contraintes techniques imposées dans le DCE

- À chaque fois que cela est possible nous avons défini des objectifs et laissé au titulaire le choix des méthodes et de la formulation :

Prescriptions du CCTP	À l'initiative du titulaire
Classe de comportement en traction, retrait, porosité, $f_{ctk,el}$ , ... (interfaces calculs fortes)	Formulation exacte
Détail de la reprise de bétonnage, reprises de bétonnage verticales interdites	Nombre exact de levées, position des reprises
Références aux normes 18-470, 18-451, ...	Fabrication chantier ou centrale à béton
Épreuve de convenance avec $\frac{1}{4}$ d'embase sur 1 m de haut	Méthode de mise en œuvre (pompé, gravitaire, ...) Méthode de malaxage

# Formulation du BFUP

- Des exigences fortes demandées au CCTP :

Propriétés	Exigences du CCTP	Produit mis en œuvre : Smart-Up [Structure] Gris 3,75% FM de chez VICAT
Résistance caractéristique en compression ( $f_{ck}$ )	150 MPa	150 MPa
Valeur caractéristique de la limite d'élasticité en traction ( $f_{ctk,el}$ )	9 MPa	9.5 MPa
Valeur caractéristique de la résistance post-fissuration ( $f_{ctfk}$ )	11.25 MPa	11.4 MPa
Classe de comportement en traction	T3	T2
Pourcentage de fibres	> 2.5%	3.75%
Retrait total à 90 jours	< 0.8 mm/m	≤ 0.55 mm/m
Porosité à l'eau à 90 jours	≤ 6,0 % (classe DP+)	≤ 6,0 % (classe DP+)
Résistance à l'abrasion	RM1	RM1



Combinaison limite d'élasticité en traction élevée, comportement très écrouissant et maintien de la fluidité : très compliqué à atteindre

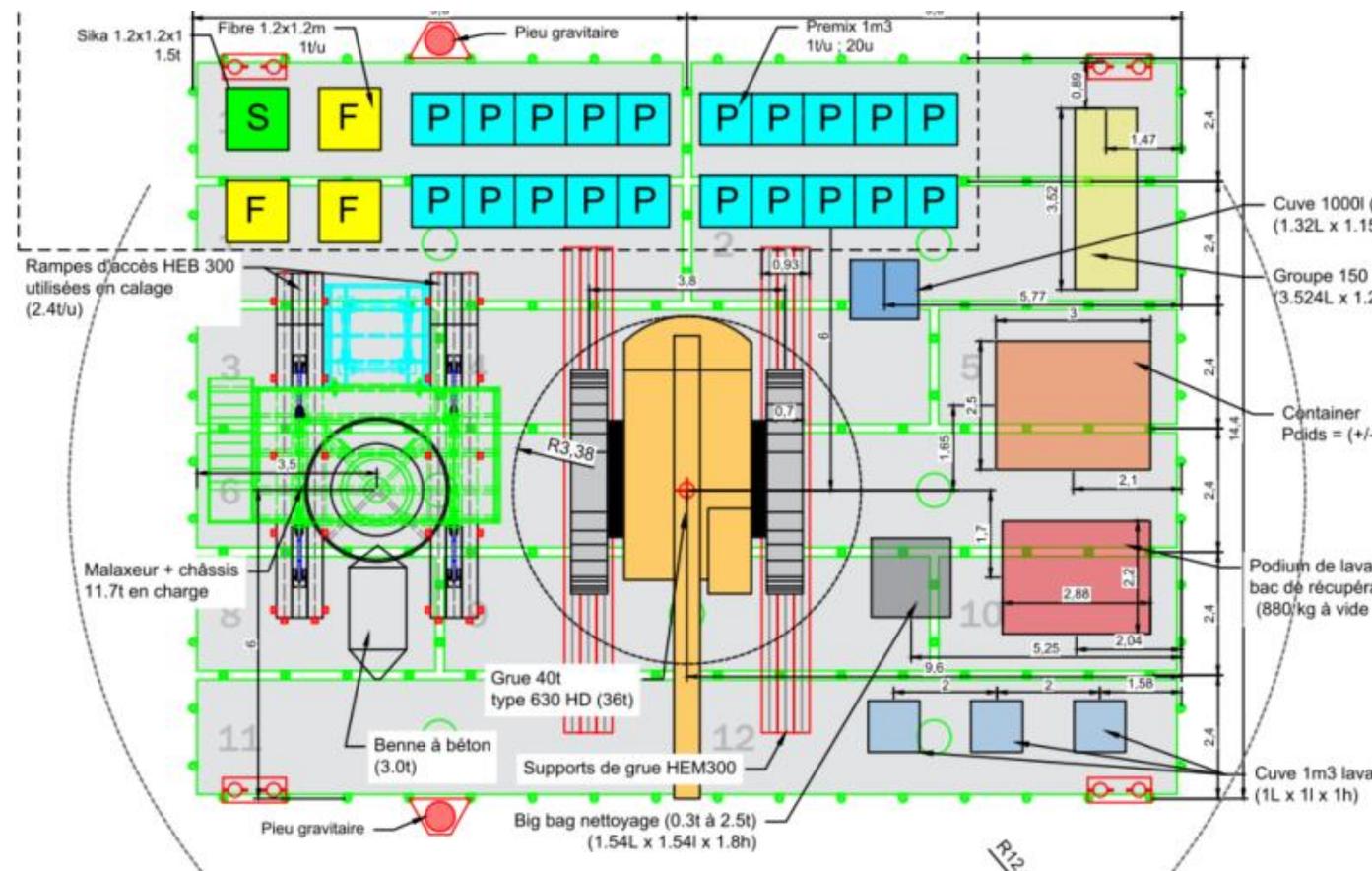
# Epreuve de convenance BFUP

- Epreuve de convenance réalisée dans un hangar chauffé afin de reconstituer les conditions probables de bétonnage in-situ
- Réalisation d'une gâchée test
- Réalisation des essais sur BFUP frais
- Confection d'éprouvettes
- Réalisation d'une planche d'essai d'hydro-découpage
- Bétonnage d'un élément témoin, avec simulation de la hauteur de chute du BFUP
- Suivi de la température du BFUP



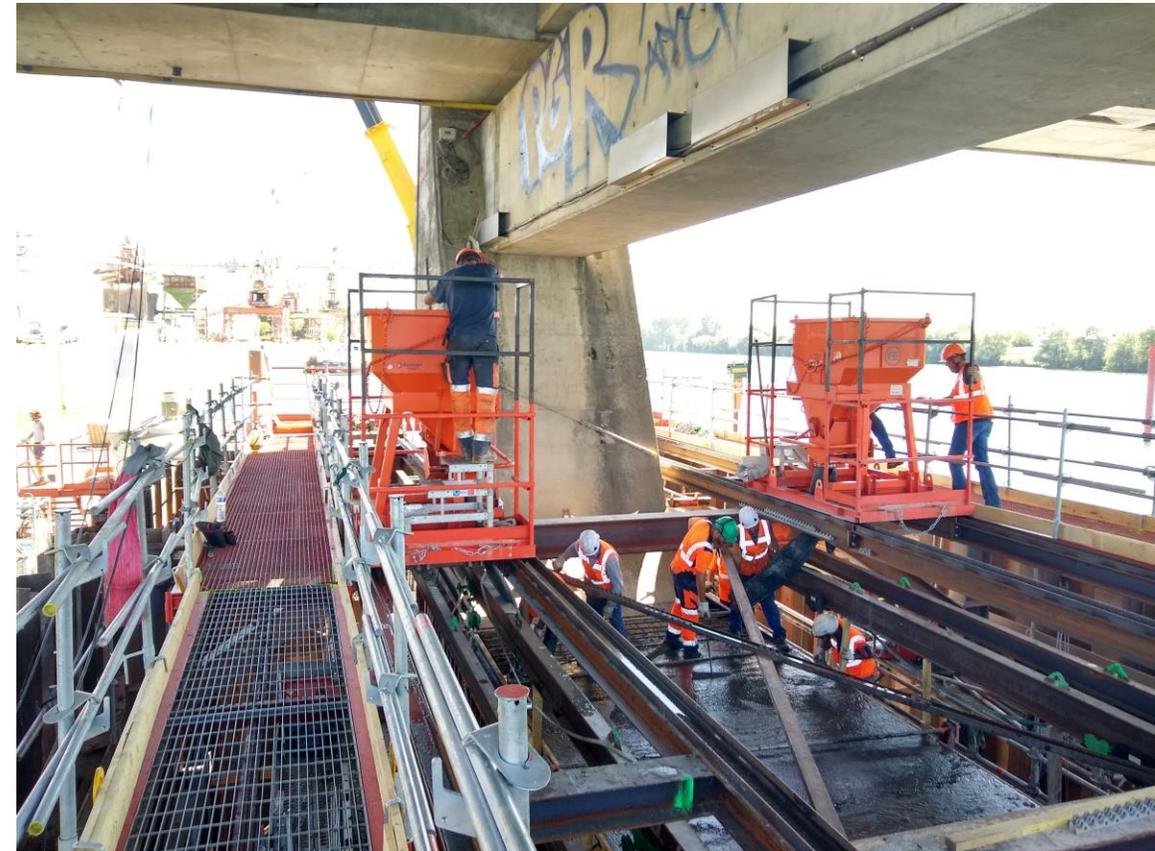
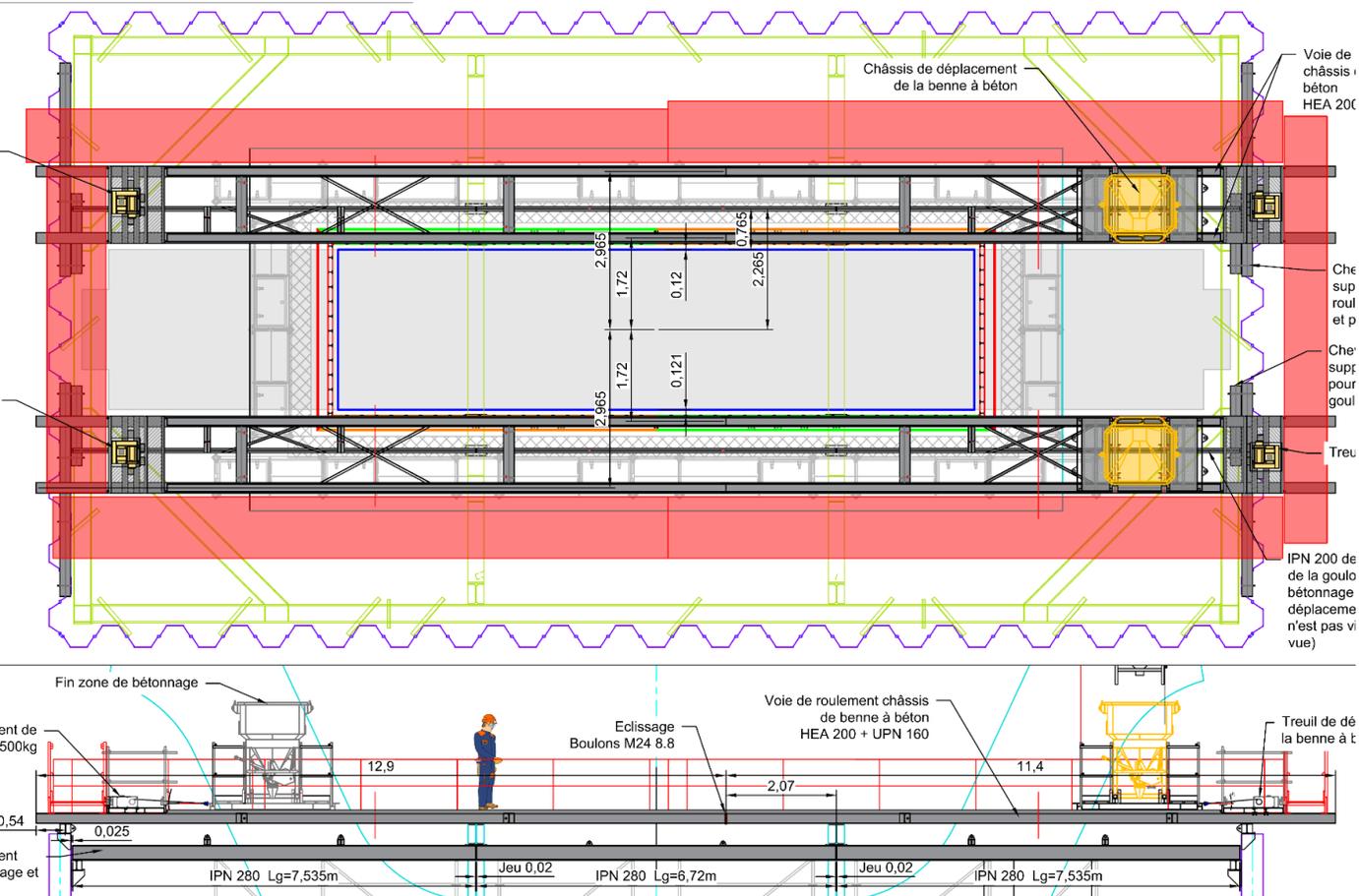
# Installations pour la réalisation du BFUP

- Fabrication du BFUP sur place sur un ponton dédié :



# Installations pour la réalisation du BFUP

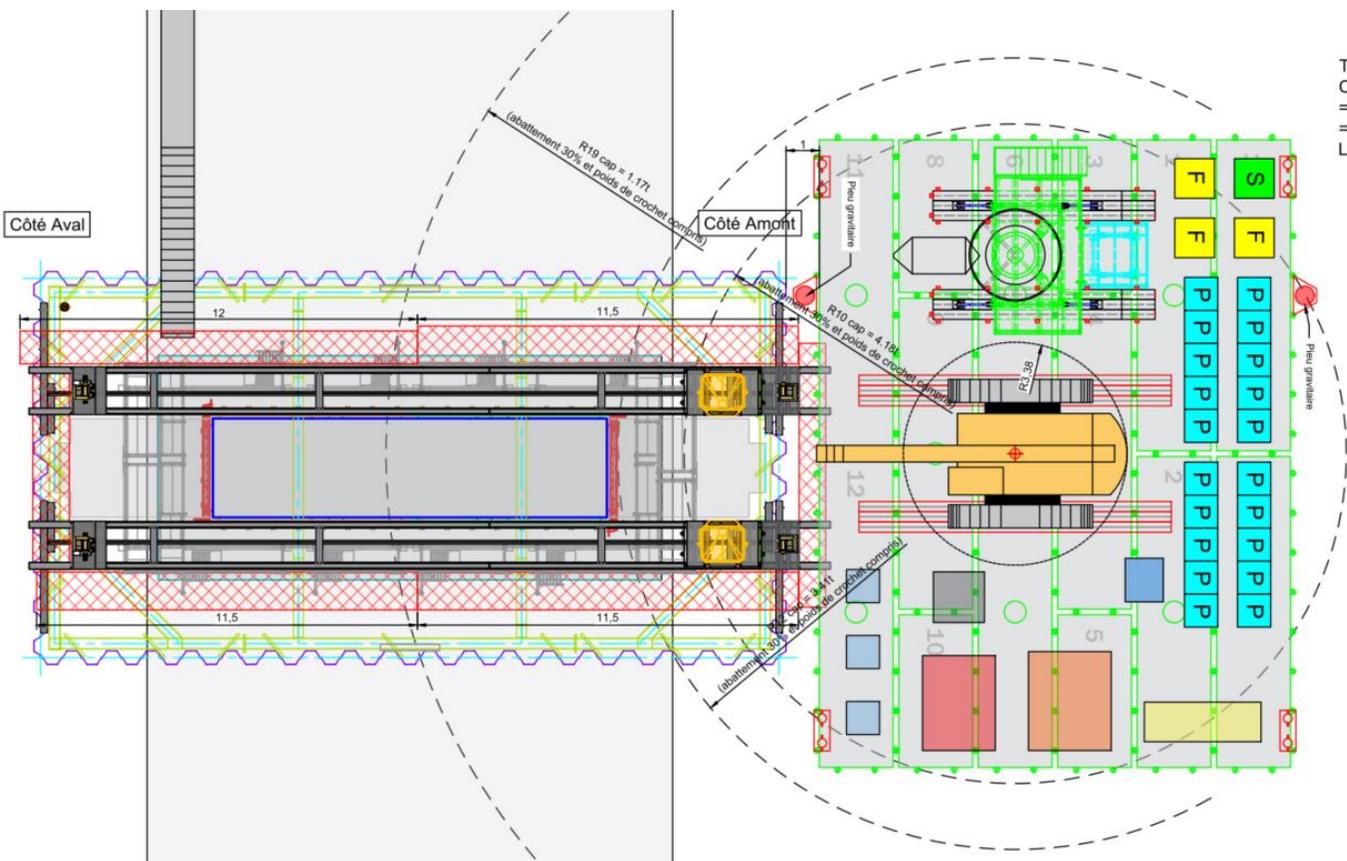
- Structure sur le batardeau pour assurer le bétonnage





# Installations pour la réalisation du BFUP

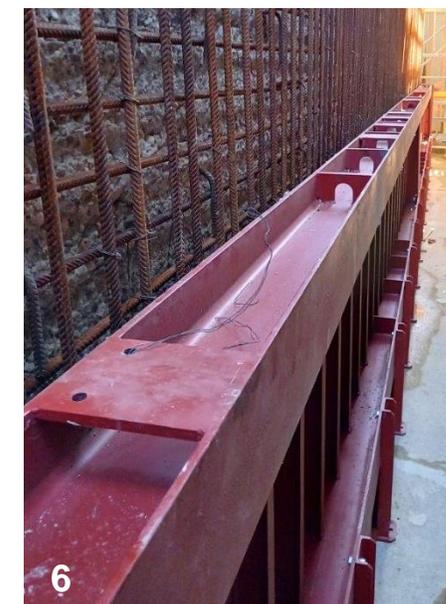
- Structure sur le batardeau pour assurer le bétonnage



# Etapes de travaux du confortement des embases

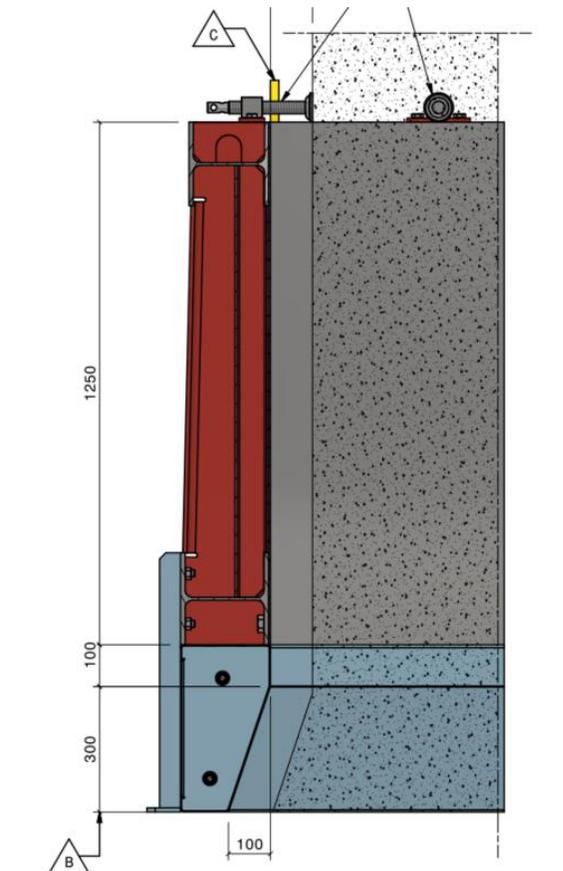
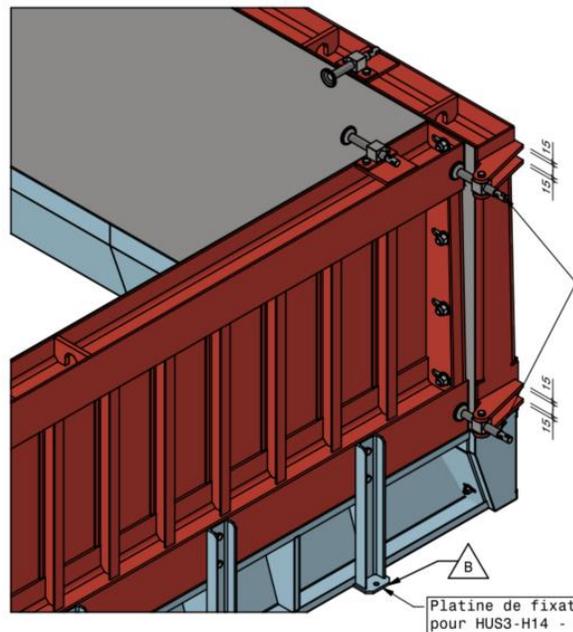
1. Batardeau, vidange & nettoyage
2. Montage de l'échafaudage d'accès
3. Forage sur 80cm et scellement des aciers
4. Hydro décapage du support (5mm)
5. Pose du ferrailage complémentaire
6. Mise en place des coffrages
7. Mise en place des structures métalliques de bétonnage
8. Mise en place des butons
9. Réalisation du BFUP par levée (7 bétonnages par pylône)

Volume BFUP par pylône : environ 27 m<sup>3</sup>

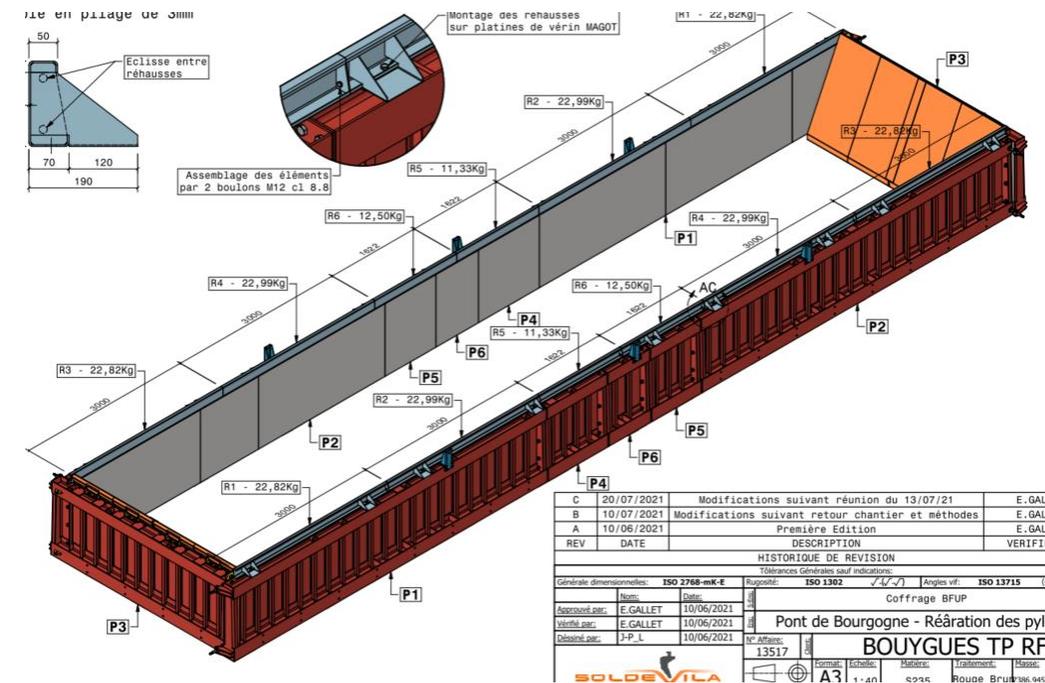


# Conception du coffrage pour la réalisation du corsetage BFUP

- Le coffrage :
  - Coffrage réalisé sur mesure pour un corsetage de 10cm
  - Gousset en pied de 20cm de large intégré au coffrage

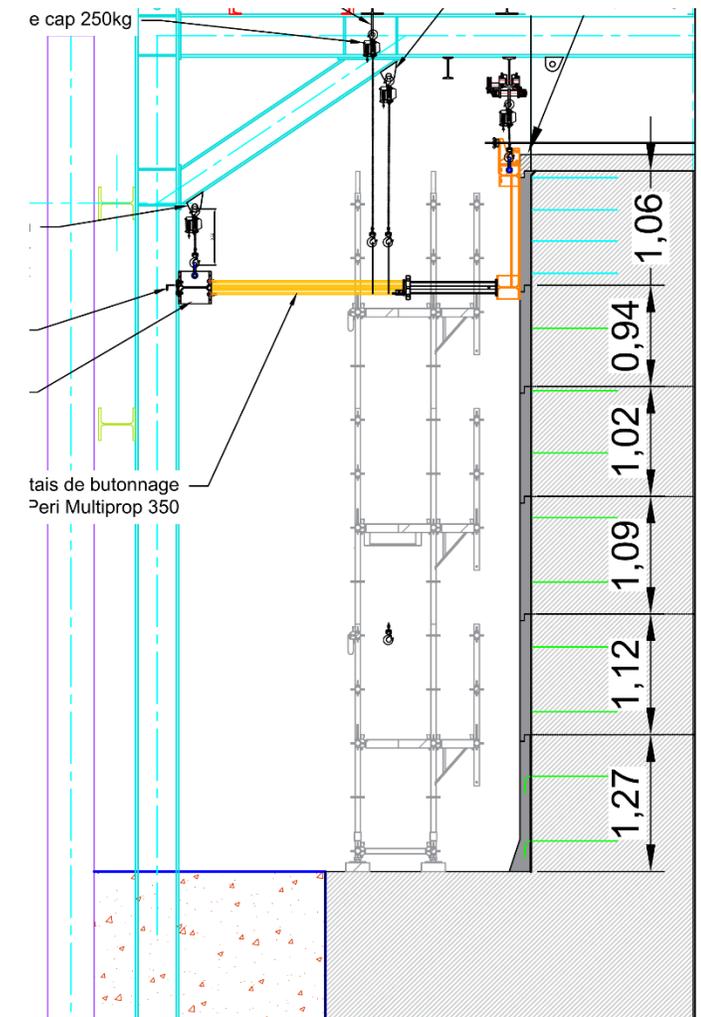
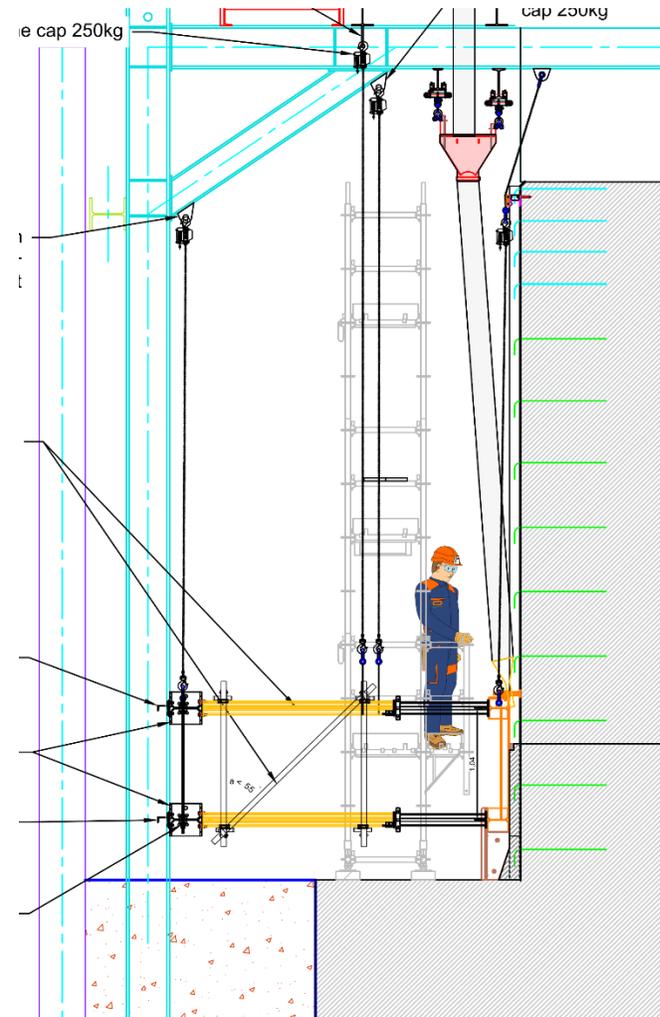
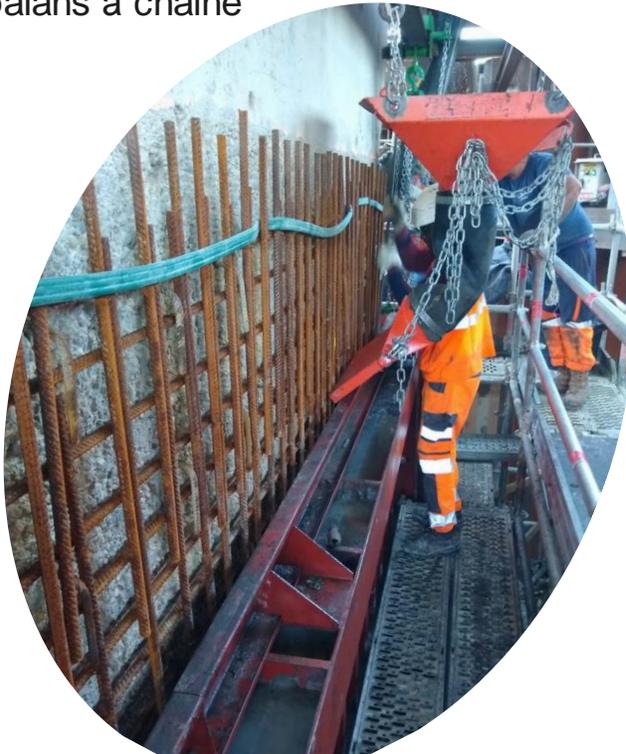


- Coffrage spécifique des abouts pour prise en compte de l'inclinaison des jambes :



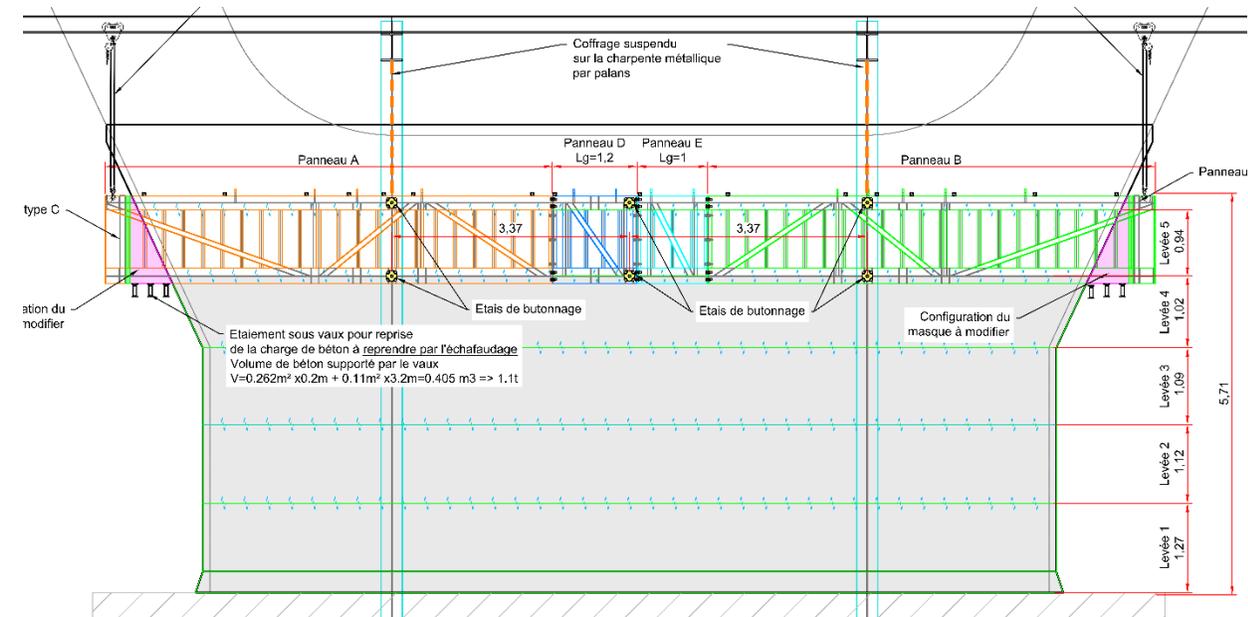
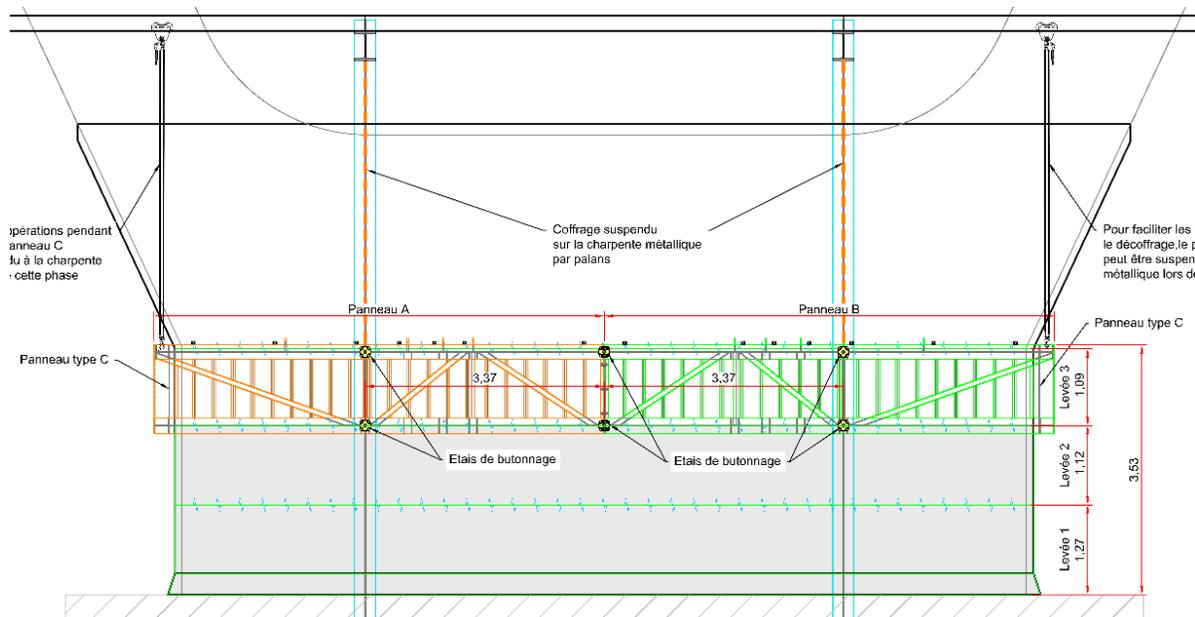
# Conception du coffrage pour la réalisation du corsetage BFUP

- La stabilisation du coffrage :
  - Contrainte : pas de tige de coffrage dans le BFUP
  - Stabilisation du coffrage grâce à des étais en compression contre le batardeau
  - Relevage des étais à l'avancement du coffrage grâce à des palans à chaîne



# Découpage en levées pour la réalisation du corsetage BFUP

- Réalisation du corsetage BFUP d'une embase de pylône en 7 levées :
  - 6 levées d'une hauteur moyenne de l'ordre de 1,10m
  - Une dernière levée de hauteur 15cm afin de réaliser la fermeture du BFUP sur le dessus de l'embase
  - Relevage des coffrages à l'avancement à l'aide des palans à chaîne
  - À partir de la levée n°4, des éléments de coffrage additionnels sont insérés, pour prise en compte de l'inclinaison des jambes du pylône



# Coulage du BFUP



## Rendu de l'embase terminée

- ⚠ Le taux de fibre élevé et les contraintes de réalisation dans l'enceinte du batardeau conduisent à des variations de teintes et la présence de coulures
- ⚠ Le ferrailage rend difficile le remplissage des coffrages
- ✓ Régularité dans la production du BFUP (bonne maîtrise de la fabrication)
- ✓ Température du BFUP élevée en sortie de malaxeur mais chute rapidement après avoir transité dans les bennes puis avoir été déversé dans le coffrage



Merci de votre attention !

