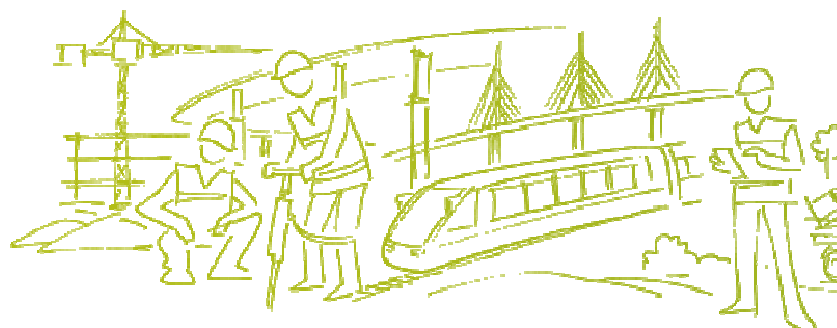


Les débats de l'AFGC :

*Préfabrication – Innovation – Développement durable*

# LA PREFA FAIT DES VAGUES

Gilles DELPLACE





### **LE PROJET : USINE SEINE AVAL DERU à ACHERES**

Marché de conception – réalisation confié par le SIAAP au groupement :

- EIFFAGE TP (Génie civil)
- OTV (Process et équipements)
- LWA (Architecture)
- BG Ingénieurs Conseil (Assistance MO)

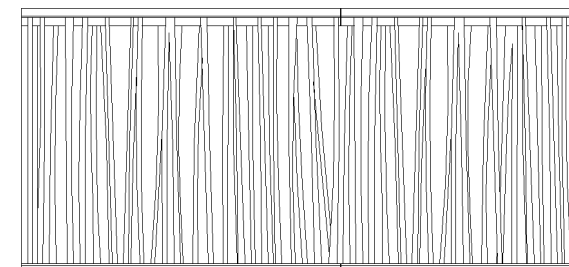
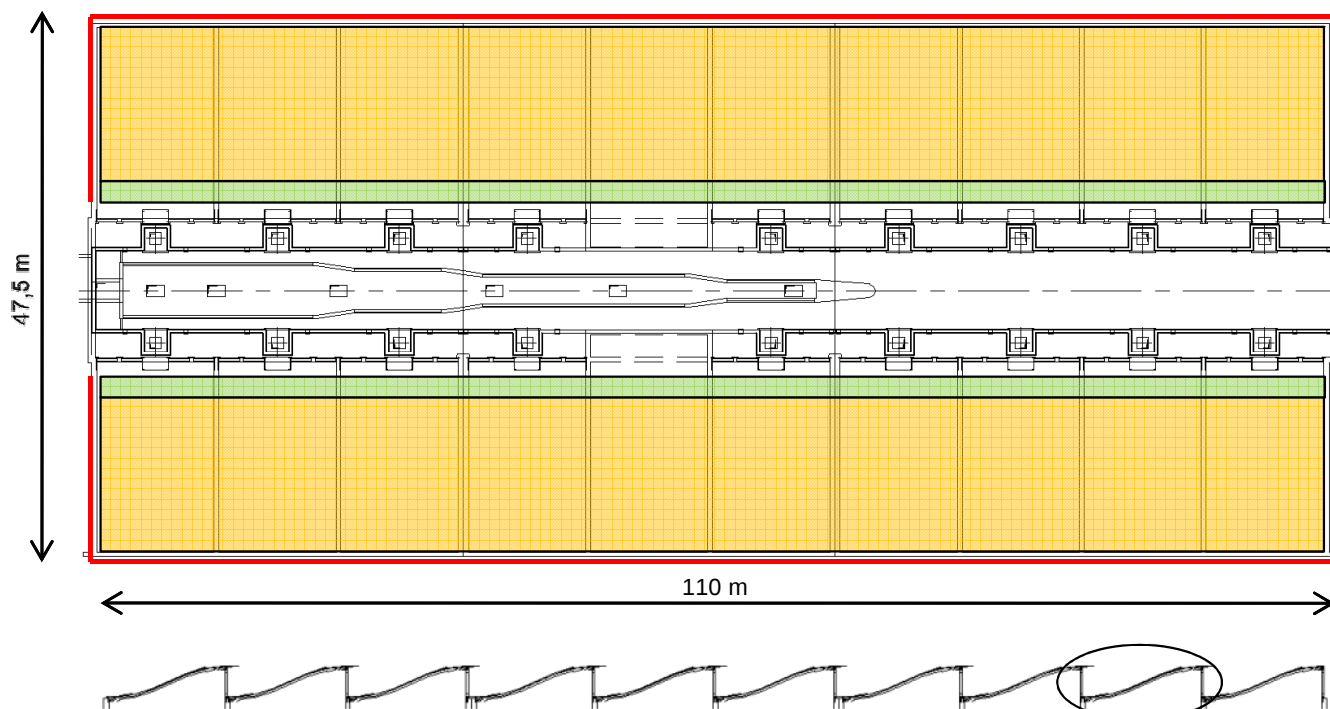
La mise au norme de la station d'épuration Seine Aval DERU s'appuie essentiellement sur le procédé de bio-filtration BIOSTYR® et de traitement BIOSEP®.

La capacité de l'Usine Seine Aval DERU sera ainsi de 1 700 000 m<sup>3</sup> / jour par temps sec.

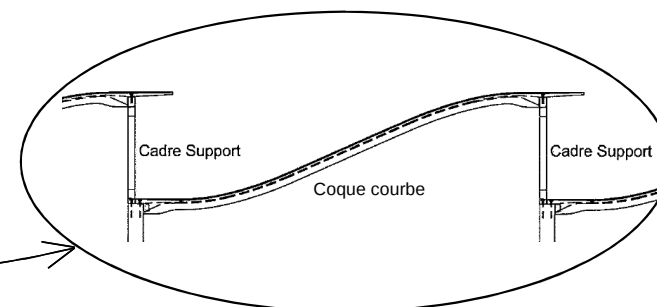


### Le bâtiment BYOSTYR® de la centrale DERU d'Achères :

- Couverture de 3500 m<sup>2</sup> : 260 éléments préfabriqués en BSI®
  - 160 coques courbes
  - 80 cadres support
  - 20 coques plates
- Habillage de façade : 70 panneaux de résilles en BSI blanc



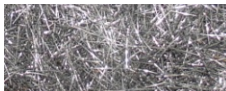
Exemple de panneau de résille





## BSI®: Béton fibré à ultra hautes performances (BFUP) développé et breveté par EIFFAGE

### Constituants du BSI® pour 1 m<sup>3</sup>

|                                                                                             |         |
|---------------------------------------------------------------------------------------------|---------|
| Prémix (*) :                                                                                | 2296 kg |
| Super-plastifiant                                                                           | 39,6 kg |
| Eau                                                                                         | 185 kg  |
| Fibres métalliques<br>(L <sub>f</sub> =20mm ; $\phi$ = 0,3mm)                               | 195 kg  |
| Les fibres métalliques sont droites et constituées d'acier à très haute limite d'élasticité |         |
|            |         |

\* Le prémix est un pré-mélange de tous les constituants secs (ciment, fumée de silice, sables et granulats).

### Caractéristiques mécaniques du BSI®

|                                                                     |                        |                       |
|---------------------------------------------------------------------|------------------------|-----------------------|
| Densité                                                             | $\rho$                 | 2,75 t/m <sup>3</sup> |
| Résistance caractéristique en compression à 28j                     | $f_{c28}$              | 165 MPa               |
| Résistance caractéristique en traction à 28j de la matrice          | $f_{t28}$              | 8,8 MPa               |
| Résistance caractéristique en traction à 28j du matériau fibré      | $\sigma_{bt-28}$       | 8,04 MPa              |
| Valeur moyennée du module d'Young à 28j                             | $E_{i28}$              | 57 GPa                |
| Retrait endogène à l'infini                                         | $\epsilon_{re-\infty}$ | 550 $\mu\text{m/m}$   |
| Retrait de dessiccation à l'infini                                  | $\epsilon_{rd-\infty}$ | 150 $\mu\text{m/m}$   |
| Fluage propre et de dessiccation (chargement à t <sub>1</sub> =48h) | $K_{fl}$               | 1,00                  |

### Pourquoi le choix d'un BFUP ?

- Performances mécaniques → Structure très élancée
  - Plasticité du matériau → Formes complexes
  - Forte compacité → Bonne résistance aux agents agressifs (ciel gazeux chargé en H<sub>2</sub>S)
- } Intérêt esthétique

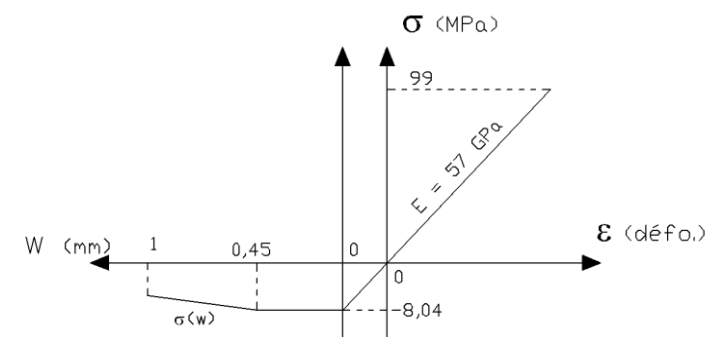
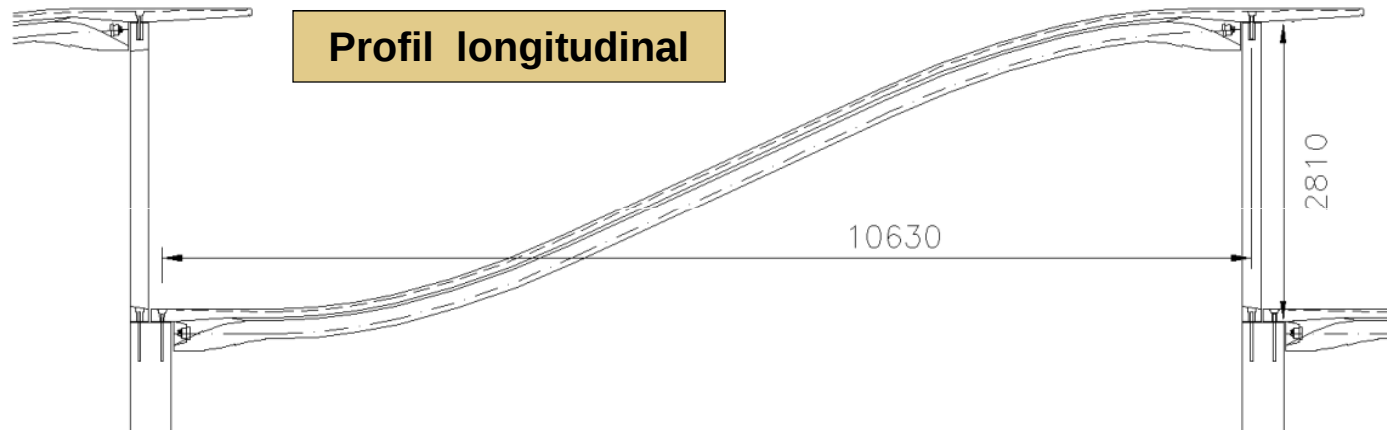


Figure : Loi de comportement ELS du BSI®

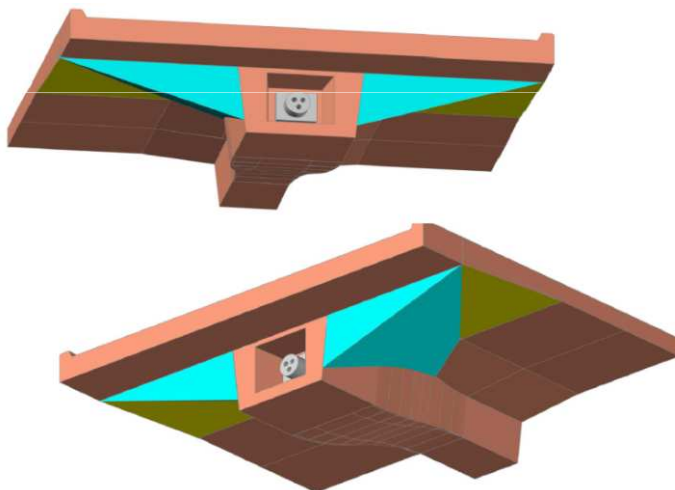


# LES COQUES COURBES : GÉOMÉTRIE

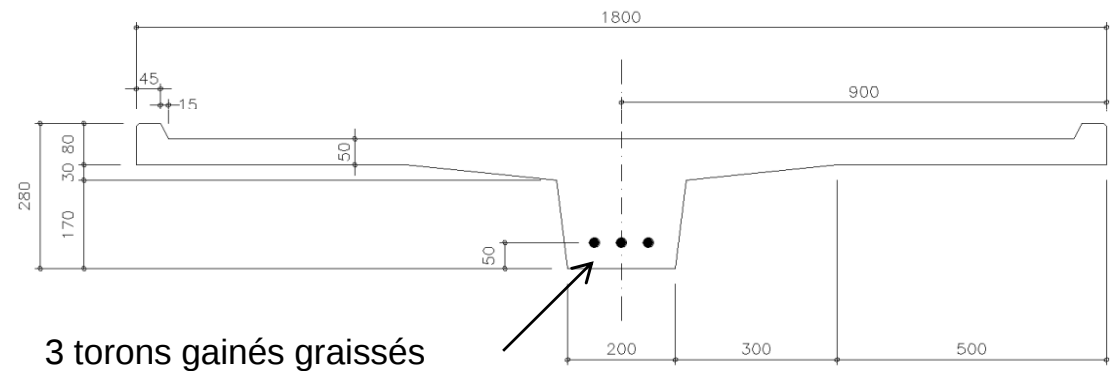


Charge de service:  
 $q = 100 \text{ kg/m}^2$

**Vue 3D de la zone d'appui**



**Coupe transversale courante**



3 torons gainés graissés

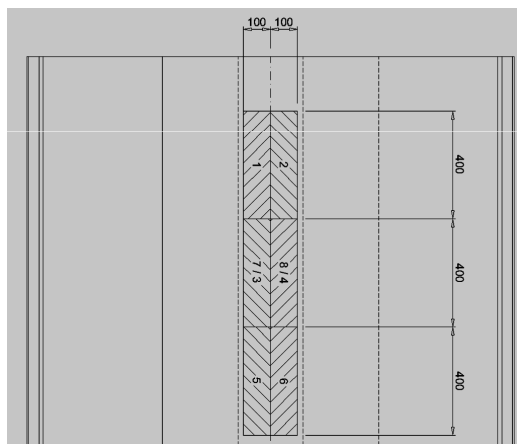
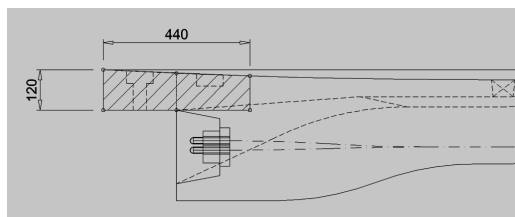
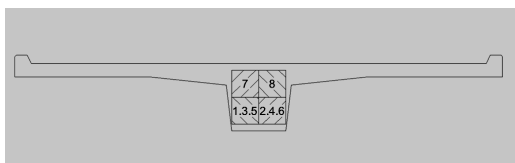
Epaisseur moyenne = 81mm →  $L / E_{moy} = 131$



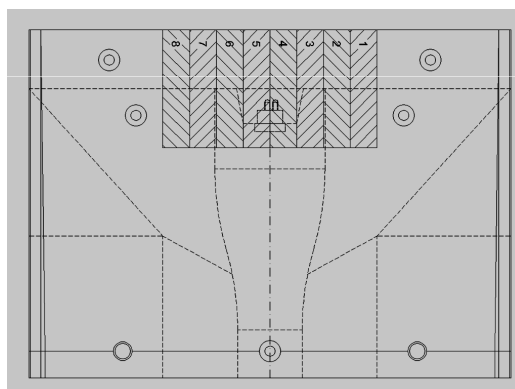
# LES COQUES COURBES : ÉPREUVES DE CONVENANCE

Matériau BFUP → Coefficient K qui caractérise la dispersion de l'orientation des fibres  
(Recommandations provisoires AFGC-SETRA pour les BFUP)

- Réalisation d'éléments témoins à l'échelle 1/1 de la structure
- Prélèvement de prismes dans les zones caractéristiques de la structure
- Test en laboratoire pour valider les coefficients K choisis



Prismes en section courante



Prismes dans les consoles d'appui



Coque après  
prélèvement des  
prismes dans les  
consoles d'appui

Résultat des essais :

|                | Section courante | Consoles d'appui |
|----------------|------------------|------------------|
| Effets globaux | K = 1,20         | K = 1,35         |
| Effets locaux  | K = 1,65         | K = 1,55         |



# LES COQUES COURBES : ÉTUDES D'EXÉCUTION

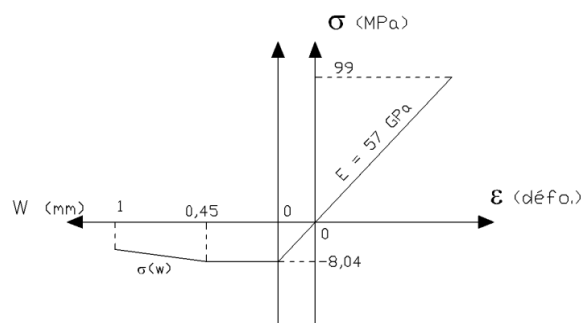
## Justifications basées sur les recommandations provisoires AFGC-SETRA relatives aux BFUP

1) Pour les sollicitations longitudinales: Référence à la classe II du BPEL

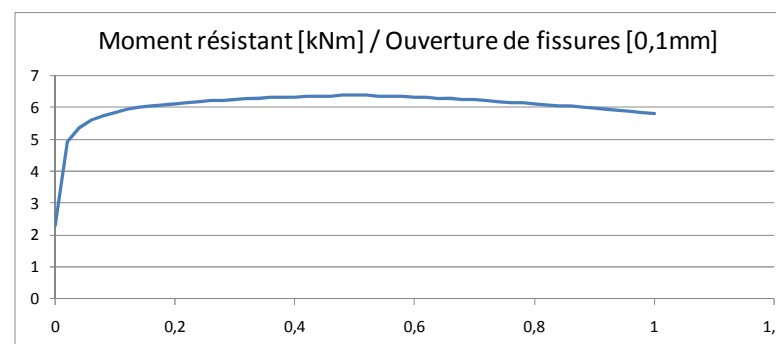
|                           |               |                       |       |        |                 |
|---------------------------|---------------|-----------------------|-------|--------|-----------------|
| <b>Phases provisoires</b> | ● Compression | $\sigma_{\max}$ [Mpa] | 32,17 | < 81   |                 |
|                           | ● Traction    | $\sigma_{\min}$ [Mpa] | -4,98 | > -7   | Face supérieure |
| <b>ELS Rare</b>           | ● Compression | $\sigma_{\max}$ [Mpa] | 25,61 | < 99   |                 |
|                           | ● Traction    | $\sigma_{\min}$ [Mpa] | -6,19 | > -8.8 | Face inférieure |

2) Pour les sollicitations transversales: Référence à la classe IV des recommandations BFUP

Prise en compte de la contribution des fibres



Loi de comportement ELS du BSI®



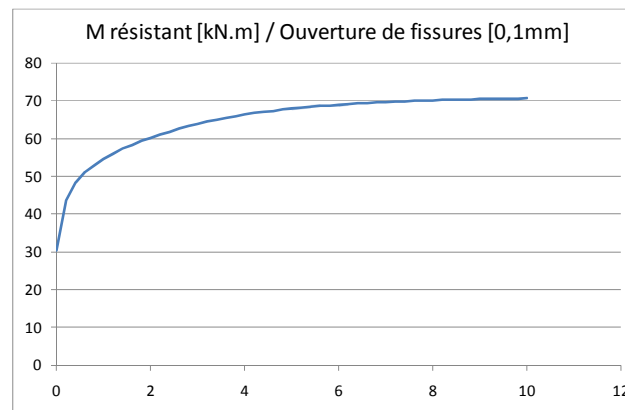


# LES COQUES COURBES : ÉTUDES D'EXÉCUTION

## 3) Particularités de l'étude :

Absence totale de ferrailage passif

a) Justification du moment ultime en prenant en compte la contribution des fibres du BSI®.



b) Les zones d'appuis des coques sont constituées de consoles non précontraintes.

- Prise en compte des fibres métalliques du BSI®.
- Modélisation par éléments finis de la zone d'appui.
- Validation par essais en laboratoire dans le cadre des essais de convenance.

c) Absence de frettage dans les zones d'introduction de la précontrainte validée expérimentalement par un essai sur bloc d'ancrage en BSI® réalisé en laboratoire.



# LES COQUES COURBES : PRÉFABRICATION

## Préfabrication des coques en atelier

Le comportement auto-nivelant du BSI®, associé à la forme de la coque ainsi qu'au souhait de l'architecte d'obtenir une finition de qualité sur les deux faces du hourdis excluaient la solution du coulage à plat.

C'est pour cette raison que l'élément est **bétonné verticalement**, sur tranche.

Le bétonnage est réalisé **sans vibration ni étuvage**.

Le démoulage s'effectue dès que la résistance sur cylindre atteint **35 MPa**.

Cette résistance est obtenue après 22h pour un bétonnage par temps froid. Par température supérieure ou égale à 20° C la résistance atteint 60MPa après 20h, ce qui permet un **cycle de bétonnage quotidien**.

La résistance du BSI® au démoulage est suffisante pour assurer la manutention de la coque jusqu'à son lieu de stockage.

La post-contrainte est appliquée sur le site de production, dans la configuration verticale de la coque.

Les coques sont stockées sur tranche jusqu'à présenter une résistance caractéristique en **compression de 135MPa, soit à 15 jours**.

C'est à ce moment qu'elles sont mises en tension, toujours en configuration sur tranche.



## LES COQUES COURBES : PRÉFABRICATION



*Utilisation d'un coffrage métallique pour 160 réemplois.*

*Face arrière constituée en deux parties du fait de la nervure centrale*





## LES COQUES COURBES : PRÉFABRICATION



*Mise en place des câbles de post-contraintes avant fermeture du coffrage*



*Coffrage auto-stable vertical pour un coulage « à chant »*



## LES COQUES COURBES : PRÉFABRICATION



*Passerelle d'accès à l'arrière sur un côté*

*Bétonnage au pont roulant avec  
benne, par gâchées de 1 m<sup>3</sup>*

*2 m<sup>3</sup> par coque*





## LES COQUES COURBES : PRÉFABRICATION



*Décoffrage d'une pièce le lendemain du coulage*



*Mise en zone de stockage*



## LES COQUES COURBES : PRÉFABRICATION



*Stockage des pièces en attente de post-contrainte*



*Stockage sur parc en attente de livraison*

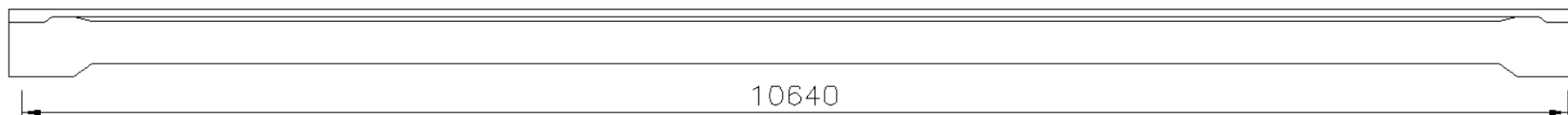


# LES COQUES PLATES : GÉOMÉTRIE

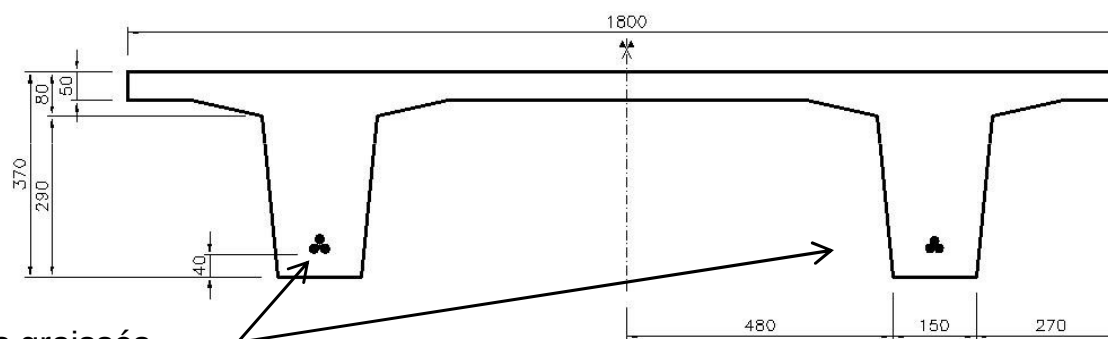
**Profil longitudinal**

Charge de service:

$$q = 500 \text{ kg/m}^2$$



**Coupe transversale courante**



2 x 3 torons gainés graissés

Epaisseur moyenne = 119mm → L / Emoy = 89



# LES COQUES PLATES : PRÉFABRICATION

## Préfabrication des coques en atelier

Les coques plates ont été coulées à plat à l'envers compte tenu de la face circulée matricée, puis retournées au moyen d'un basculeur.

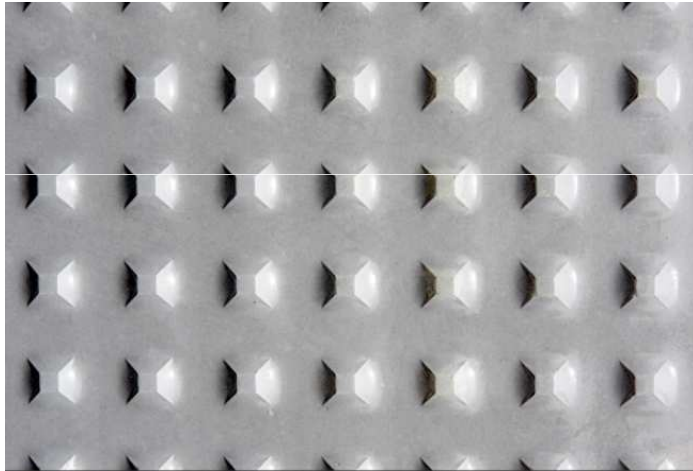
Le décoffrage et le retournement sont permis avec une résistance caractéristique minimum en compression de **50 MPa sur cylindre**.

Les appuis en phase de stockage avant mise en tension doivent être disposés au droit des points de levage primaire.

Lors de la mise en tension, deux appuis sont calés sous les extrémités de la coque en plus des appuis centraux qui sont déjà en charge. La précontrainte crée une déformée vers le haut de la structure, qui prend ainsi appui sur ses extrémités et libère les appuis centraux. La coque est dès lors considérée comme une poutre bi-appuyée.

Cette mise en tension impose une résistance caractéristique à la compression de **135 MPa sur cylindre**.

# LES COQUES PLATES : PRÉFABRICATION



*Vue de la partie antidérapante en zones de circulations sur les coques*

*Coffrage métallique « à l'envers » avec son contre-moule pour les nervures*

*20 réemplois*



# LES COQUES PLATES : PRÉFABRICATION



*Après décoffrage, le retournement des pièces se fait à l'aide d'un basculeur*

*Stockage des pièces en attente de post-contrainte*





## LES COQUES COURBES : POSE SUR CHANTIER

La pose des coques sur chantier se fait de la même manière que toute dalle préfabriquée de grande dimension.

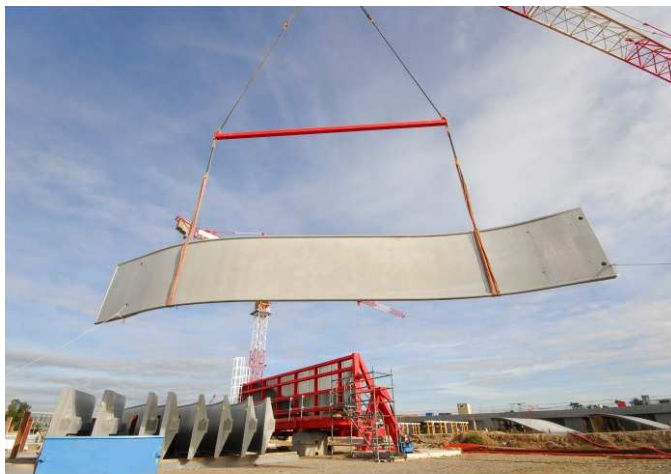
Les principes de sécurité tant en terme d'élingage que de soutènements provisoires sont les mêmes que de la préfabrication « traditionnelle ».

La particularité se situe plus au niveau des coques en S qui ont été livrées verticalement sur semi-remorques (4 par livraison) et qu'il a fallu mettre en position finale (à plat) pour la pose définitive.

Pour cela, le chantier a utilisé un basculeur qui a permis de manipuler les pièces en toute sécurité et en les préservant.



## LES COQUES COURBES : POSE SUR CHANTIER



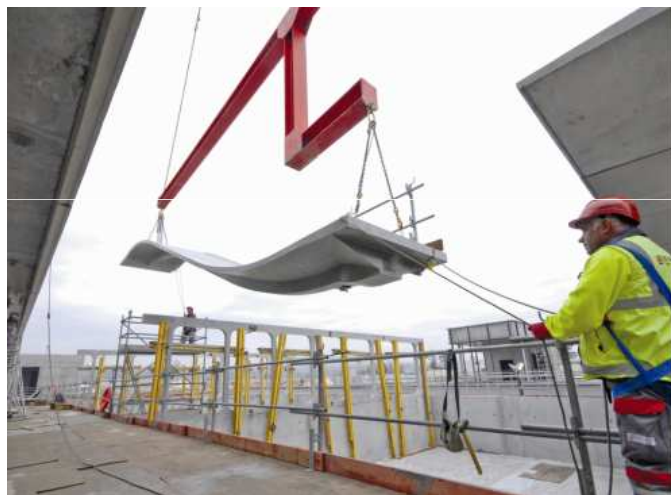
*Le déchargement des coques se fait verticalement*

*Le basculeur permet de ramener la pièce en sa position définitive*





## LES COQUES COURBES : POSE SUR CHANTIER



*La pose se fait à l'aide d'un palonnier spécialement adapté pour respecter la différence de niveau*

*Vue de la coque, avec zones de réception des compagnons aux appuis*





## LES COQUES COURBES : POSE SUR CHANTIER

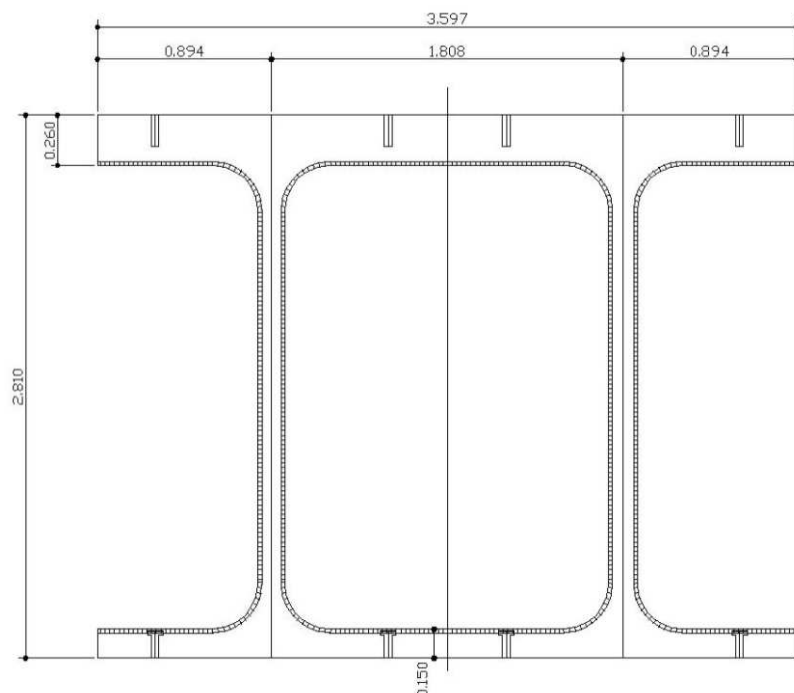


*Vue des coques posées côte à côte, pour une couverture complète des bassins*



# LES CADRES SUPPORTS

**Vue en plan**



**Support des coques courbes**



**Bétonnage et stockage à plat**

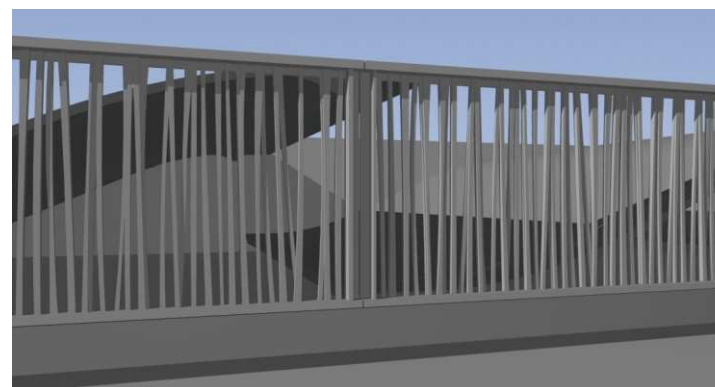




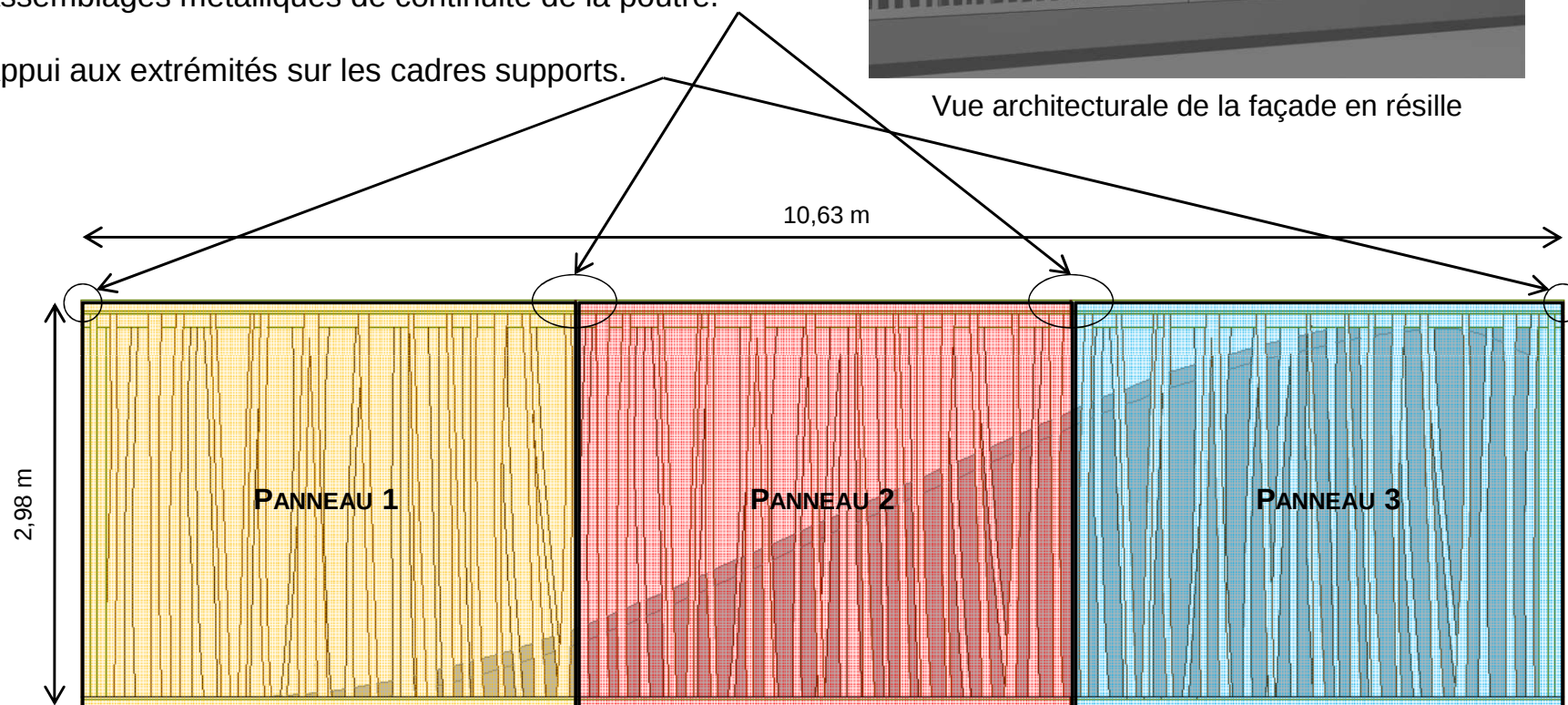
# LES RÉSILLES EN BSI BLANC : GÉOMÉTRIE

## Un projet architectural contraignant

- Fractionnement de la façade en panneaux.
- Assemblages métalliques de continuité de la poutre.
- Appui aux extrémités sur les cadres supports.



Vue architecturale de la façade en résille





# LA RÉSILLE EN BSI BLANC : PRÉFABRICATION

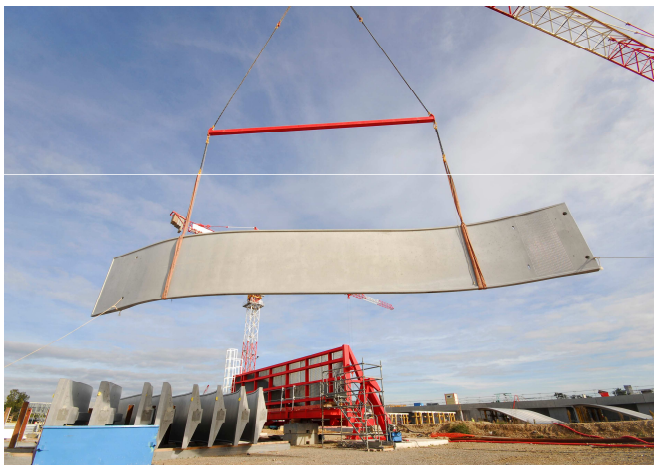
## Préfabrication des résilles en atelier

- 1 seul contre-moule pour l'ensemble des panneaux de résille de la façade.
- 2 moules en polyuréthane pour la réalisation de 70 panneaux

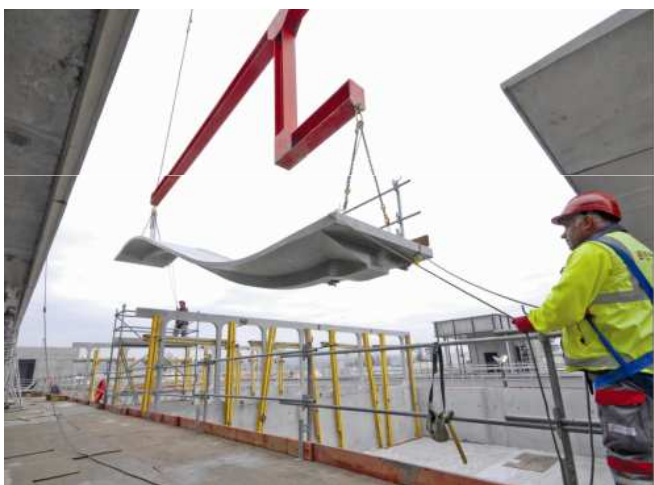




## QUELQUES PHOTOS DU CHANTIER

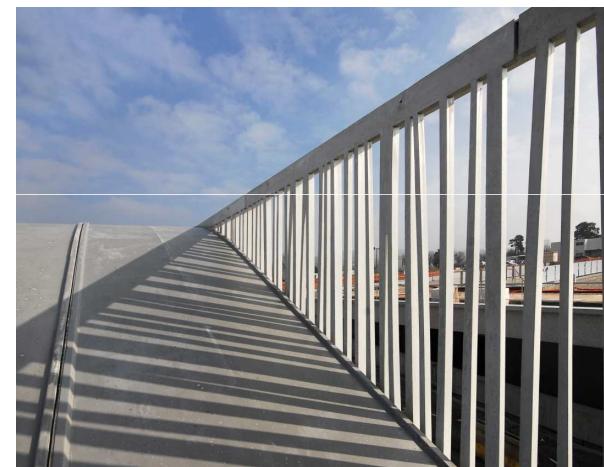


Crédit photo : Alex Béraud





## QUELQUES PHOTOS DU CHANTIER



Crédit photo : Alex Béraud





## QUELQUES PHOTOS DU CHANTIER



Crédit photo : Alex Béraud



## **Les coques et résilles de l'Usine Seine Aval DERU d'Achères:**

- Application originale et intéressante du matériau BFUP
- Structure complexe et élancée à forte valeur esthétique rendue possible grâce :
  - Aux performances mécaniques et à la plasticité du BSI®
  - A une conception concertée avec le préfabriquant, permettant une optimisation de la phase de production.
- Pérennité améliorée grâce à la forte compacité du BSI®.

Ce projet démontre le potentiel du matériau BFUP, notamment dans le domaine architectural, et contribue à ouvrir la voie vers de nouvelles conceptions originales.



**MERCI**  
**Pour votre attention**