

## PASSERELLE EN COQUES BFUP A BEZIERS (FR)



**PEIGNEUX CHRISTOPHE**

Chef de projets

SERVAIS.PARTNERS

Rue de la Belle Jardinière, 318 à 4031 Angleur

Tél. : 04.275.41.04

Email : cp@servais.partners

### Résumé :

La promenade Nelson Mandela franchissait le boulevard Jean Bouin par l'intermédiaire d'une passerelle en bois lamellé-collé fortement dégradée. La Ville de Béziers a programmé le remplacement de cette passerelle dans un projet de requalification du quartier de la Devèze afin de recréer des liens entre les habitants et leurs quartiers.

En respect du patrimoine Biterrois, une conception innovante a été développée : construire un pont sans joint de dilatation, ni appareil d'appui basé sur une technologie millénaire tout en l'adaptant à un matériau contemporain, le BFUP. Il en résulte une passerelle constituée d'une arche préfabriquée, élancée, en BFUP avec remplissage allégé et murs de retenue en gabions.

La réutilisation multiple d'éléments identiques (4 coques issues du même coffrage) permet d'amortir l'incidence de la part complexe du produit, de la sorte, l'économie globale du projet est garantie. La passerelle possède une travée principale d'environ 36 m avec une largeur utile de 3,5 m.



## 1. INTRODUCTION

### 1.1. IMPLANTATION

La nouvelle passerelle « Georgette Bousquet » est située dans la banlieue de Béziers et plus précisément dans un quartier résidentiel (Figure 1 et Figure 2).



Figure 1. Implantation

Ce quartier est actuellement en complète mutation et modernisation de la part des autorités locales. Une grande majorité des tours de logements sociaux est en cours de démolition.

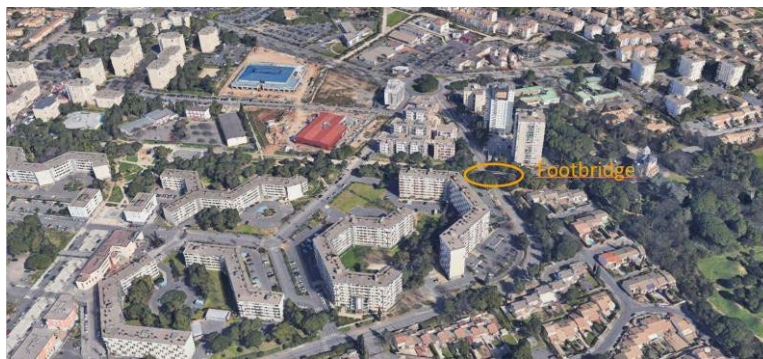


Figure 2. Quartier résidentiel

Par le passé, une passerelle en bois lamellé-collé traversait le boulevard Jean Bouin. Elle reliait les quartiers de part et d'autre et donnait accès à un parc (Figure 3). Cette passerelle a souvent été vandalisée et a été partiellement incendiée (Figure 4). La ville a programmé son remplacement.



Figure 3. Vue en plan



Figure 4. Passerelle existante

## 1.2. APPROCHE DE CONCEPTION

Deux célèbres ponts anciens sont présents à Béziers : le "Pont Vieux" (Figure 5) du 12ème siècle qui est un pont en arc en pierres et le "Pont Canal" (Figure 6) du 19ème siècle également un pont en arc en pierres.



Figure 5. Pont Vieux et la Cathédrale



Figure 6. Pont Canal

Le patrimoine historique de Béziers, comme ces deux ponts, ainsi que la Cathédrale, ... est réalisé avec des pierres locales ce qui donne une cohérence chromatique à l'ensemble. De plus, ces constructions reposent sur un comportement structurel éprouvé : la voûte. Ces structures sont sans aucun appui, joint de dilatation ce qui assure une durabilité et requiert un faible entretien au fil des siècles.

Cette analyse du patrimoine de Béziers conduit à proposer un concept innovant : construire un pont sans joint de dilatation, ni appareil d'appui, recourir à une technologie millénaire mais adapter cette dernière à un matériau contemporain, le Béton Renforcé à Ultra Hautes Performances (BFUP).



Figure 7. Intégration

La réappropriation des méthodes ancestrales impose de revoir la composition du remplissage de voûte. Les typologies moyenâgeuses sont transposées aux techniques et matériaux du XXI<sup>e</sup> siècle. Il en résulte une passerelle élancée constituée d'une voûte en BFUP avec remplissage en billes d'argile expansées concassées et murs de retenue en gabions (Figure 7).

## 2. PASSERELLE

La passerelle a une portée principale d'environ 36 m et une largeur utile de 3,5 m. La longueur totale de l'ouvrage est d'environ 48 m (Figure 8). L'ouvrage est une structure intégrale sans appareil d'appui et sans joint de dilatation. Les rampes sont réalisées avec des éléments préfabriqués en BFUP directement posés sur les gabions et le remblai (Figure 9) et assurent l'accès aux personnes à mobilité réduite avec leur pente de 4%.

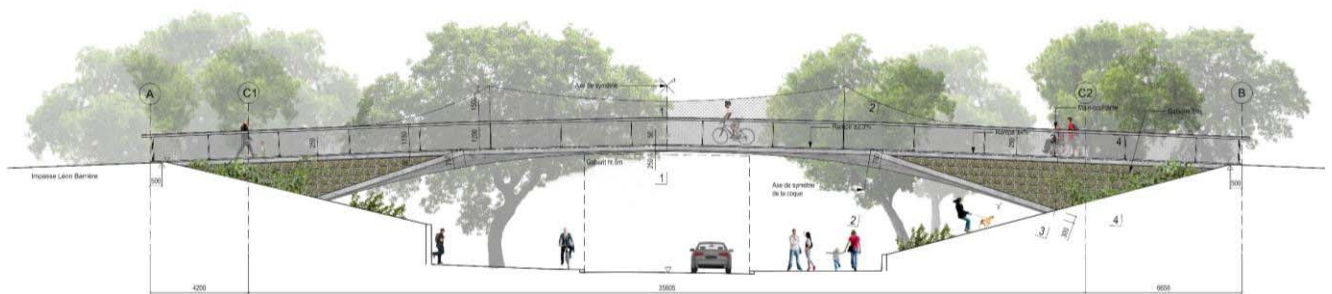


Figure 8. Footbridge elevation

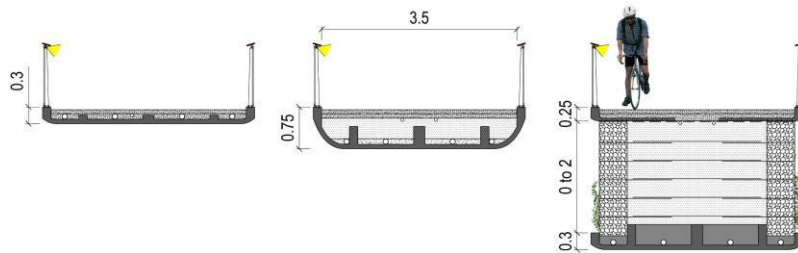


Figure 9. Footbridge typical cross-sections

## 2.1. STRUCTURE

La structure principale (l'arc) est constituée de quatre coques identiques en BFUP. Ces éléments ont une forme en U avec une hauteur totale de 30 cm à 75 cm. L'utilisation répétée d'éléments similaires dans l'arc (Figure 10) permet de minimiser l'incidence de la complexité du coffrage et par conséquent, permet de respecter le coût global du projet. Chaque coque en BFUP a une épaisseur de 70 mm avec 3 nervures intermédiaires. La hauteur des nervures varie de 15 cm à 45 cm pour un total de 17 m<sup>3</sup> de BFUP.



Figure 10. Main structure in 4 identical shells and unique formwork

La sous-face de chaque coque est une portion d'ellipse dont les diamètres ont été déterminés de manière à éviter tout angle dans les joints de clavage. Sous charges permanentes, la géométrie de l'arc est étudiée pour être uniquement en compression. En d'autres termes, les moments de flexion sont quasi égaux à zéro (Figure 11).

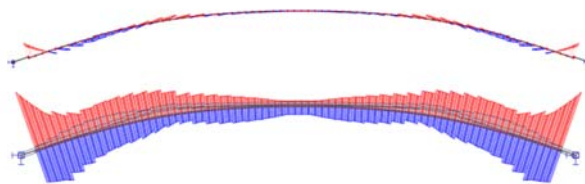


Figure 11. Bending moment diagram under permanent loads and at ULS

Ainsi, le centre de gravité de la structure correspond pratiquement au funiculaire des charges. Cette géométrie optimale est obtenue d'une part en adoptant une sous-face composée de portions d'ellipse et d'autre part, en augmentant la hauteur des nervures pour remonter le centre de gravité dans les coques côté culée et ainsi tendre vers le tracé du funiculaire des charges.

## 2.2. BFUP

Le BFUP utilisé possède une loi de comportement classique en compression comme les bétons usuels mais avec une résistance caractéristique de 150 MPa en compression.

En traction, grâce aux fibres métalliques, une loi possédant un faible écrouissage est obtenue avec une résistance caractéristique en traction de l'ordre de 8,5 MPa (Figure 12).

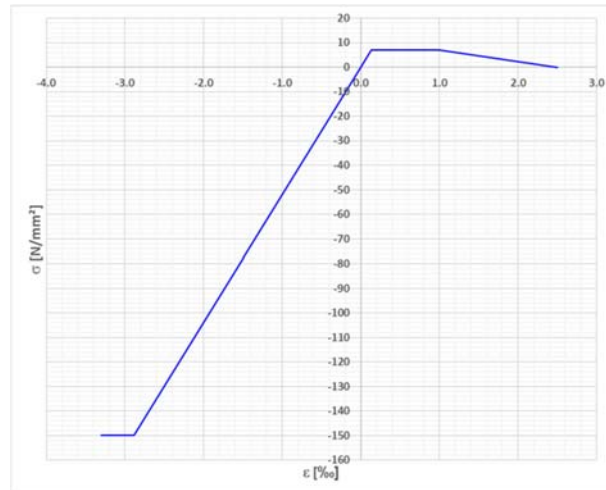


Figure 12. UHPFRC material law

Il n'y a pas d'autres armatures dans le béton excepté dans certaines zones spécifiques comme à proximité des ancrages de garde-corps et à chaque joint de clavage entre coques.

## 2.3. COMPORTEMENT TRANSVERSAL

Le comportement transversal des coques en BFUP qui ont une épaisseur de 7 cm, est assuré grâce aux nervures intermédiaires.

Dans les coques côté culée, où la hauteur de remblai est la plus importante ainsi que les charges permanentes, les poussées dans le plan des nervures intermédiaires sont plus importantes que dans la zone centrale. En effet, les nervures sont plus hautes dans les coques côté culée (40 cm) que celles des coques de la partie centrale (variables de 15 cm à 40 cm). Ainsi, le comportement transversal dans les coques côté culée fonctionne comme une poutre appuyée sur chaque nervure. Au contraire, dans la partie centrale, la coque est simplement supportée par les âmes externes (Figure 13).

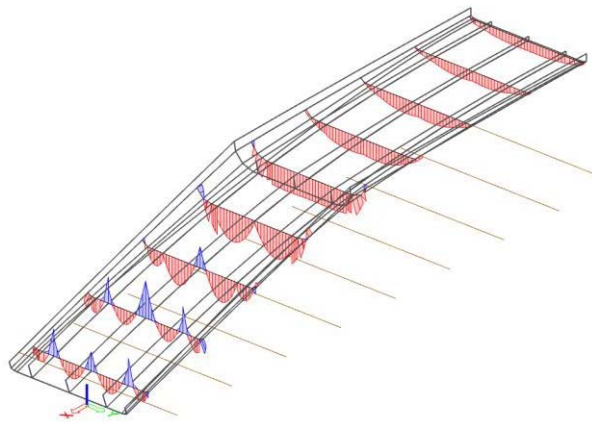


Figure 13. Transversal bending moment diagram under permanent load

## 2.4. JOINTS

La structure en arc est réalisée avec 4 coques préfabriquées en BFUP. Les joints de clavage entre coques sont situés à mi- portée et au quart de portée. A l'ELS, ces joints sont uniquement en compression. Ainsi, seul un collage époxy est nécessaire pour assurer un parfait contact pour le transfert de l'effort de compression entre les coques ainsi que les éventuels efforts tranchant (Figure 14). A l'ELU, de la traction peut se produire au niveau des fibres extrêmes de la section. Un joint de clavage avec des armatures est réalisé au sommet des nervures latérales et des barres de précontrainte sont installées sur la partie inférieure de la coque.

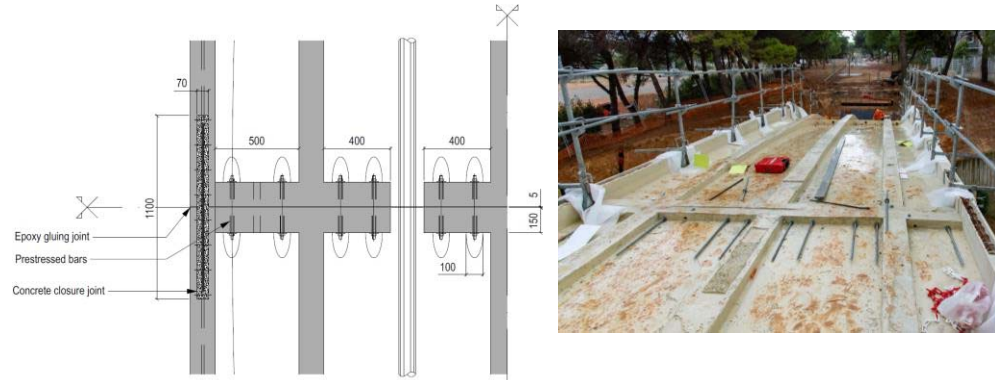


Figure 14. Closure joint between UHPFRC shells

Le joint de clavage de la structure en BFUP avec la culée doit transmettre des efforts de compression et des moments fléchissant importants. La continuité de la structure et les restraints de la fondation créent ces moments fléchissant (Figure 15). Un mortier sans retrait est exécuté entre la coque et la culée pour assurer un contact parfait pour l'effort de compression. Une zone de transition en béton armé est réalisée entre les nervures de la coque. Des barres d'armature de cisaillement sont installées à l'interface sur cette zone de transition pour transférer la force de traction générée par le moment de flexion de la coque à ce béton de deuxième phase.

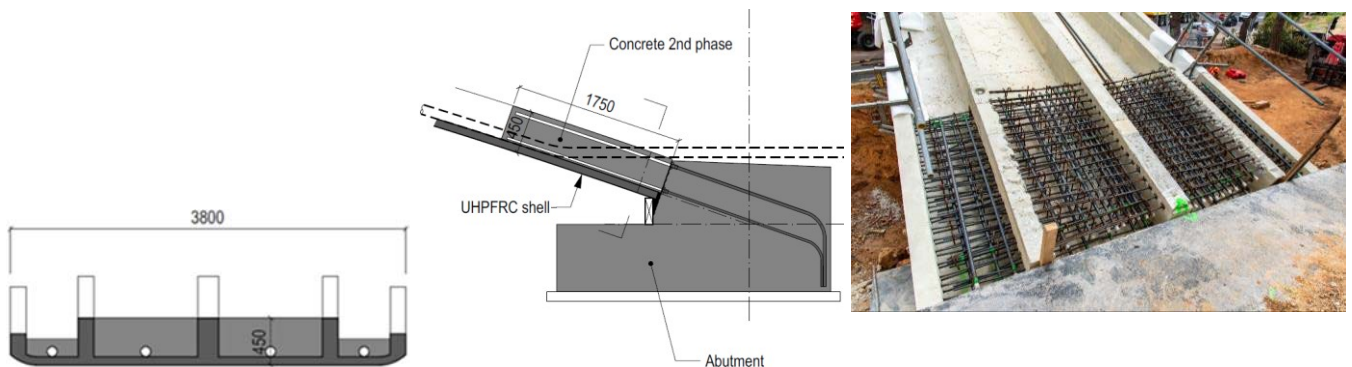


Figure 15. Closure joint with abutment

## 2.5. FONDATION

L'élanement de l'arc crée d'importantes réactions horizontales dans les fondations (environ 300 T à l'ELS). L'absence de roche et les faibles propriétés du sol imposent de soutenir les culées par des micropieux travaillant en traction- compression (Figure 16).

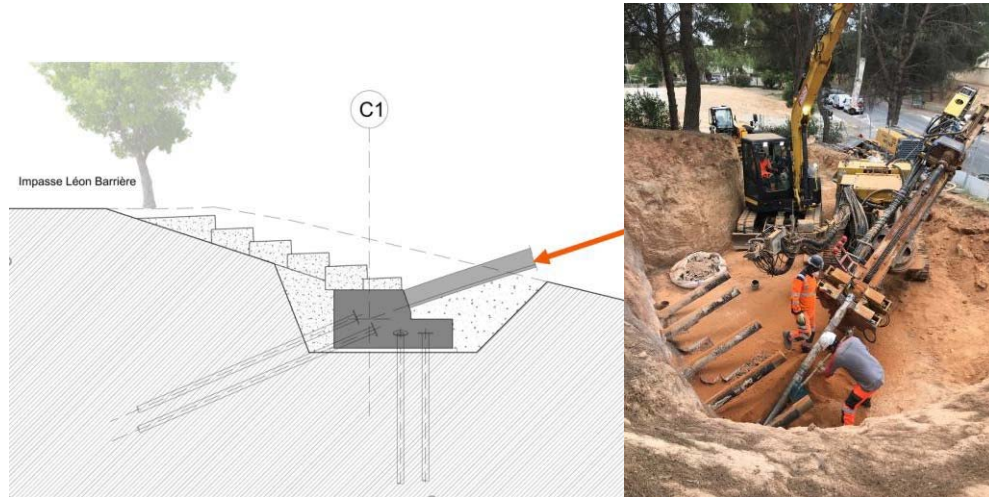


Figure 16. Foundation

## 2.6. DYNAMIQUE

Du fait de l'élanement de la structure, le comportement vibratoire du pont sous les actions dynamiques générées par le passage des piétons doit être garanti.

Le premier mode propre de flexion verticale de la passerelle est un mode dissymétrique en deux demi-ondes qui est courant et usuel pour une structure en arc. En effet, un mode propre à une onde dans une structure en arc nécessite un allongement de l'arc et a donc une fréquence supérieure à un mode en 2 demi-ondes. Ce premier mode a une fréquence au-delà de 2.5 Hz (Figure 17). Cette fréquence est donc supérieure à la fréquence naturelle de marche des piétons.



Figure 17. First vertical eigen mode

Les calculs dynamiques ainsi que les essais dynamiques sur site ont révélé de faibles risques de vibrations liés à la circulation piétonne grâce à la grande rigidité du comportement de l'arche et à la masse importante du pont (structure et équipements : remblais, gabions, ...). Les accélérations de la structure sont toujours inférieures à la limite de 1,0 m/s<sup>2</sup>. Ce seuil d'accélération est défini comme assurant un confort suffisant aux usagers selon le guide SETRA.