

PONT DE BUTHAUMONT SUR L'ORNE À BONCOURT

**F. BERNARD, A. BOUHOURS, Z. HAJAR, F. PASTOR,
L.PICARD (EIFFAGE)**

D. CHAMPENOY, L. LOUTTE (CEREMA EST)

Le pont de Buthaumont sur l'Orne à Boncourt

Z. Hajar, F. Bernard, A. Bouhours, F. Pastor, L. Picard
Eiffage Infrastructures

D. Champenoy, L. Loutte
Cerema Est

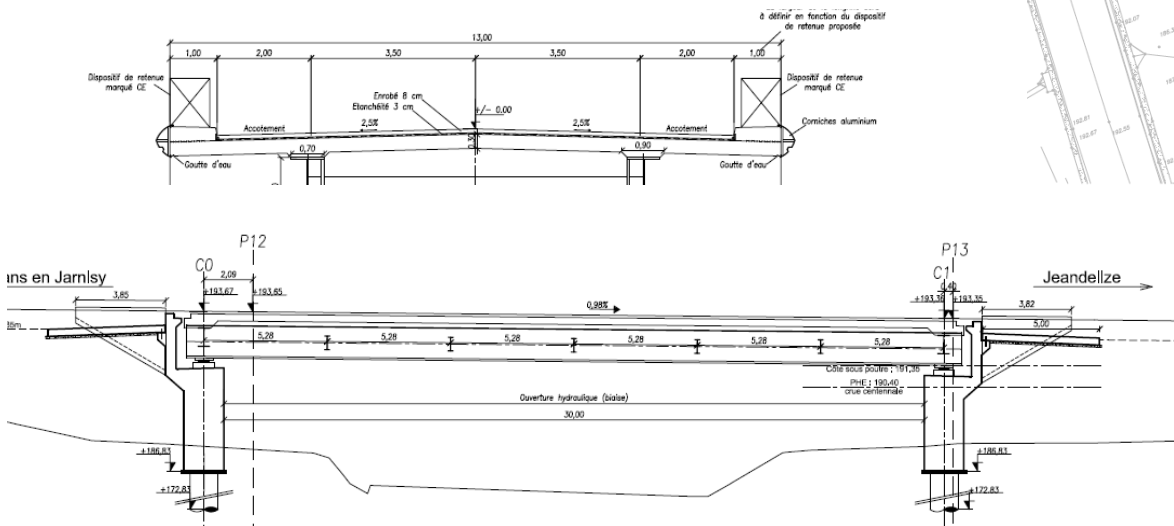
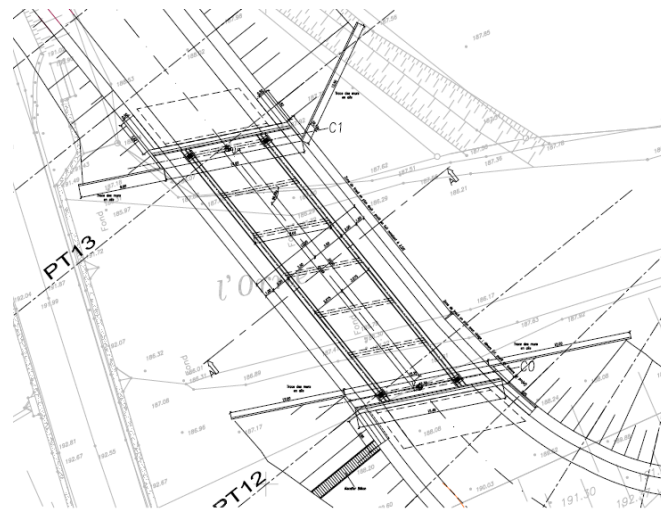
Plan de la présentation

- Présentation de l'ouvrage
- Problématique des ouvrages de portée moyenne – Solutions BFUP
- Les études d'exécution - Spécificités
- La préfabrication des poutres
- Les travaux sur site
- Conclusion et perspectives

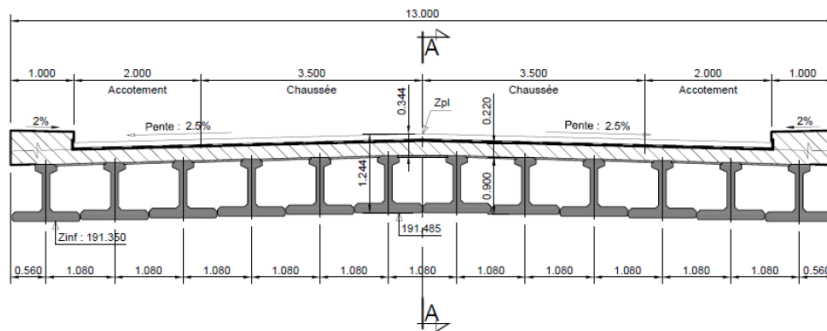
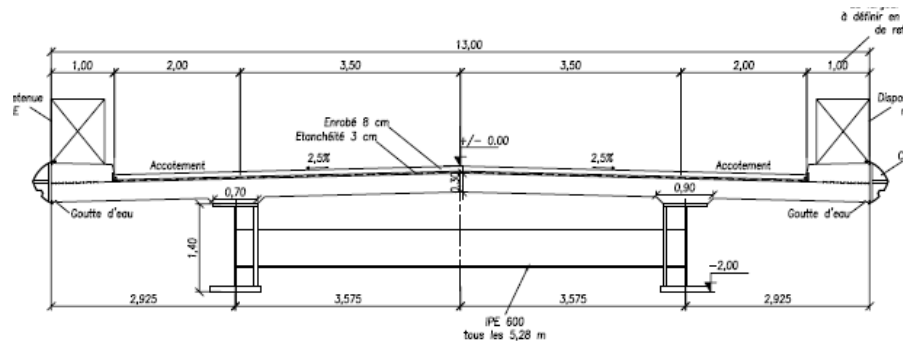


Présentation de l'ouvrage

- Franchissement de l'orne (biais ~ 70 gr)
- Ouverture hydraulique = 30m
- 1 travée / portée = **31,69m**
- Largeur tablier = 13m (dont chaussée de 11m)



- Solution variante : Pont intégral en poutres ITE®



Problématique des ouvrages de portée moyenne

- Gamme de portées 25 à 35 m : Structures possibles
 - Ouvrages construits sur cintre au sol (PSIDP, DN,...) : **inadaptés**
 - Ponts mixtes acier-béton (bipoutre, TPE,..)

TYPE D'OUVRAGE	GAMME DE PORTEE			ELANCEMENT métal seul		OBSERVATIONS	α
	Min	domaine privilégié	Max	sur pile	à la clé		
Poutrelles enrobées		8 à 25 m 10 à 30 m		1/33 (S275) 1/40 (S355) 1/38 (S275) 1/45 (S355)		Travées isostatiques Travées isostatiques Travées continues Travées continues	0,70 à 0,80 0,70 à 0,80
Tablier bipoutre mixte isostatique	30 m	50 à 80 m ⁽¹⁾	90 m	1/22 à 1/25		Travées isostatiques	-

Ép. Tablier



- Ponts à poutres préfabriquées

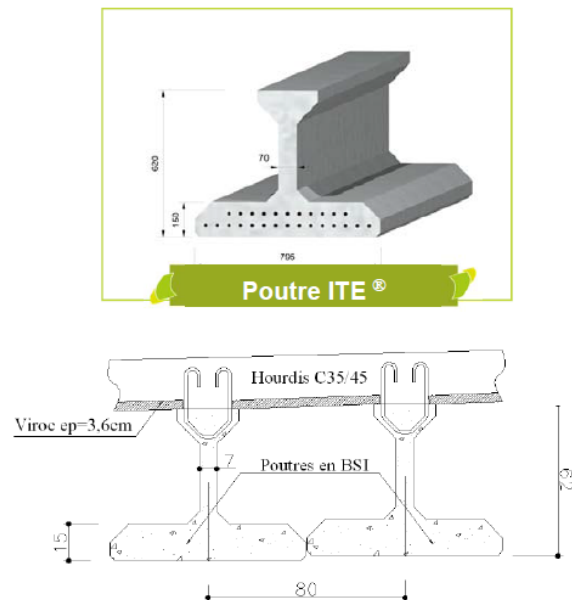
TYPE D'OUVRAGE	GAMME DE PORTEE			ELANCEMENT poutre+hourdis	OBSERVATIONS	α
	Min	domaine privilégié	Max			
PRAD Pré-tension	10 m	15 à 25 m	30 m	1/18 à 1/20 1/23 à 1/25	Travées isostatiques Travées continues	portées égales si possible
VIPP Post-tension	30 m	35 à 45 m	50 m	1/16 à 1/18-1/20		portées égales si possible

Ép. Tablier



Problématique des ouvrages de portée moyenne

- Gamme de portées 25 à 35 m : **Nouvelles solutions / Poutres en BFUP**

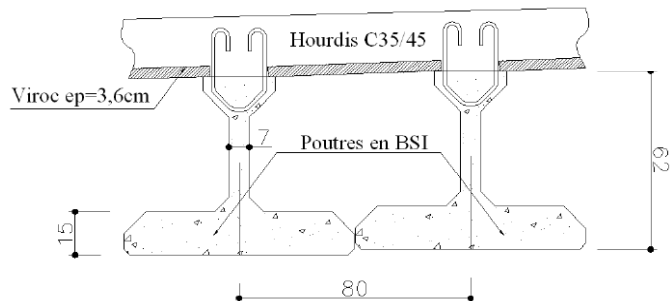
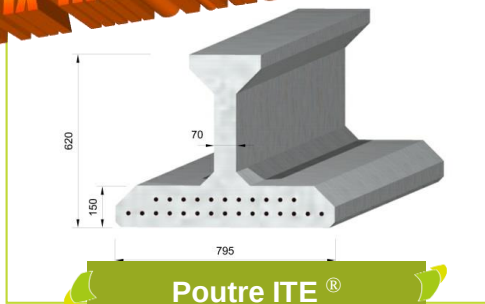


	Elancement	
	Poutre seule	Poutre+hourdis
TPE	1/38	1/34
Mixte bipoutre	1/22	1/18
PRAD		1/18 à 1/20
VIPP		1/18 à 1/20
Poutres ITE	1/34 à 1/43	

Problématique des ouvrages de portée moyenne

- Gamme de portées 25 à 35 m : **Nouvelles solutions / Poutres BFUP**

Prix innovation Fntp 2009



« Poutre ITE® (I à Talon Elargi) en BSI® »

- Nouveau composant structurel / Tabliers de **pont ultra-minces**
- **Elancement** identique à celui d'un tablier en poutrelles enrobées (économiquement viable pour 1 portée > 25 m)
- **Légèreté** du tablier : gain sur les fondations (ex. pont Pinel: PP -40% % solution TPE)
- **Impact** des travaux fortement réduit (Moins de coupures sur les voies en circulation)
- **Gain de délai** de réalisation
- Poutres jointives : toutes les autres opérations s'effectuent de jour en toute **sécurité**
- Grande **pérennité** du matériau BFUP : entretien réduit

Problématique des ouvrages de portée moyenne

- Gamme de portées 25 à 35 m : **Poutre ITE® - Réalisations**



Doublage du Pont Pinel à Rouen
17 poutres de 27 m

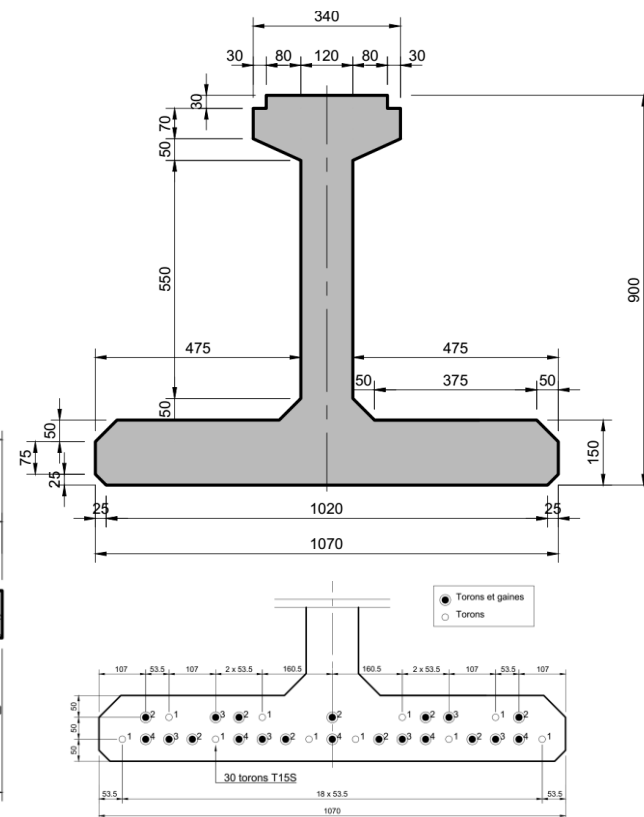


Pont de la République à Montpellier
3 x 17 poutres (24 m, 25 m, 24 m)



TSCP Saint Denis Sarcelles
26 poutres ITE (26,5 m & 28,5 m)

- 12 poutres entraxe 1,08 m
- Longueur : 30,60 m
- Masse nominale : 760 kg/ml, soit 23,2 t par poutre
- Précontrainte : 30 unités T15S 1860 MPa TBR par poutre
- Etagement de la précontrainte : 4 abscisses d'activation



Les études d'exécution - Spécificités

Carte d'identité du BSI®

Composition pour 1m³

Prémix : B1M2.5U3D5	2296 kg	+/- 2%
Super-plastifiant : GLENIUM 51	40 kg	+/- 5%
Eau ajoutée	180 kg	+/- 2%
Fibres métalliques droites (Lf=20mm Φ =0.3mm)	195 kg	+/- 2%

Caractéristiques rhéologiques

Durée Pratique d'Utilisation	DPU	90 mn
Étalement au cône DIN (sans secousse de la table) à t ₀ +2min	e (cm)	58 < e < 68
Teneur en air occlus	AO	<3,5%

Caractéristiques physiques et mécaniques

Masse volumique	ρ	2.75t/m³
Résistance caractéristique en compression à 28j	f_{ck}	160MPa
Résistance caractéristique en traction de la matrice à 28j	f_{ctk}	8.0MPa
Résistance caractéristique en traction du matériau fibré à 28j	σ_{bt}	6.3MPa
Valeur moyenne du module d'Young à 28j	E_{cm}	58GPa
Coefficient de Poisson	ν	0.2
Coefficient de dilatation thermique	α	13 μ m/m.°C
Retrait endogène à l'infini	$\epsilon_{ce,\infty}$	600 μ m/m
Retrait de dessiccation à l'infini	$\epsilon_{cd,\infty}$	240 μ m/m
Fluage propre et de dessiccation (chargement à t ₀ =2j)	$\varphi(\infty, t_0)$	1.5*
Fluage propre et de dessiccation (chargement à t ₀ =7j)	$\varphi(\infty, t_0)$	1.0*
Porosité à l'eau		8.7%
Perméabilité à l'eau		4.10 ⁻²¹ m²
Perméabilité à l'oxygène		< 10 ⁻²⁰ m²

(*) pour une déformation de fluage donnée par $\epsilon_{cc}(\infty, t_0) = \varphi(\infty, t_0) \cdot \sigma_c / E_{cm}$

Les études d'exécution - Spécificités

■ Justification du tablier – Contraintes normales

✓ Mise en précontrainte :

Traction maximale en fibre supérieure = -2,5 MPa

Compression maximale en fibre inférieure = 36 MPa

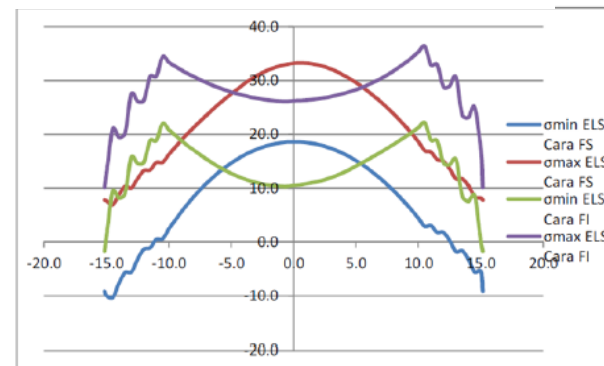
✓ En service

Compression maximale en fibre inférieure sous charges quasi-permanentes : 33 MPa

Compression maximale en fibre inférieure sous charges ELS caractéristiques : 36 MPa

Absence de traction en fibre inférieure (zone d'enrobage) aux ELS.

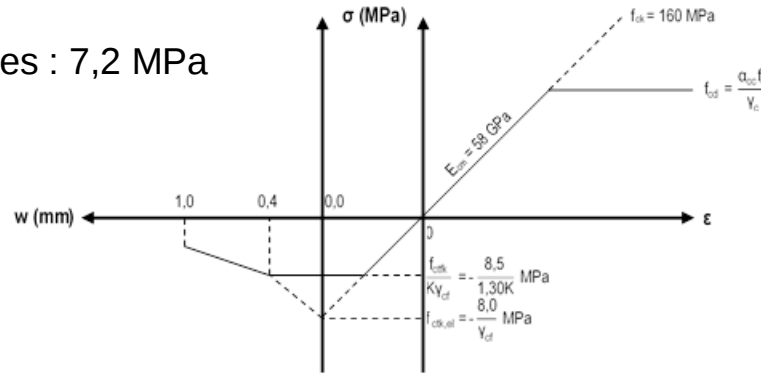
✓ Structure vérifiée en schéma isostatique ! : Grande robustesse



Les études d'exécution - Spécificités

Justification du tablier – Contraintes tangentes

- Contrainte maximale de cisaillement (ELU) dans l'âme aux abouts : 8 MPa
dont 6,7 MPa de tranchant
dont 1,3 MPa de diffusion de la précontrainte
- Contribution des fibres seules : 7,2 MPa



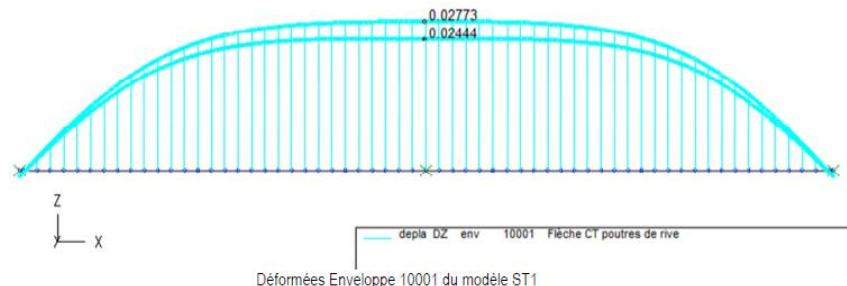
Coefficients d'orientation des fibres : $K_{global} = 1,35$ et $K_{local} = 1,75$

Les études d'exécution - Spécificités

■ Déformations des poutres

➤ Flèches nominales théoriques

- Au relâchement du banc de précontrainte : +55 mm
- A 15 jours : +75 mm
- A 28 jours : +80 mm
- Après coulage de la dalle : +35 mm
- En service à court terme : +30 mm
- En service à long terme : +20 mm



- Les flèches mesurées en usine concordent en moyenne avec les flèche théoriques et traduisent une déformation par fluage vers le haut comparable.

Les études d'exécution - Spécificités

■ Justification des culées – Fondations

- Chaque piédroit est fondé sur 4 pieux Ø1000 de longueur 15 m.
- Un double-tubage des pieux a permis de s'affranchir de l'action du fluage horizontal des premières couches compressibles
- La souplesse des pieux diminue l'effet d'encastrement en tête des piédroits.

■ Encastrement Piédroit - traverse

- Les combinaisons avec la variation uniforme de température comme cas principal sont dimensionnantes.

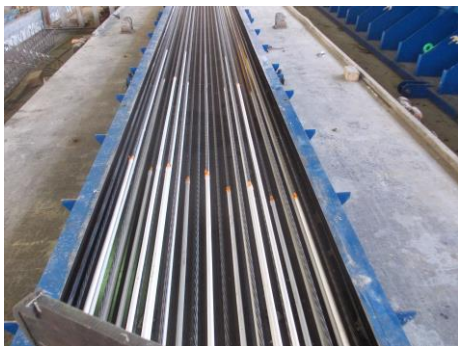


La préfabrication des poutres

- Phases de bétonnage

Afin d'obtenir un parfait remplissage du coffrage, et compte-tenu de la forme du talon conjuguée à la présence des 30 torons avec leurs gaines partielles pour certains, le bétonnage s'effectue en deux phases:

première phase: bétonnage du talon inférieur



La préfabrication des poutres a été réalisée dans l'usine de Matière à Brive.

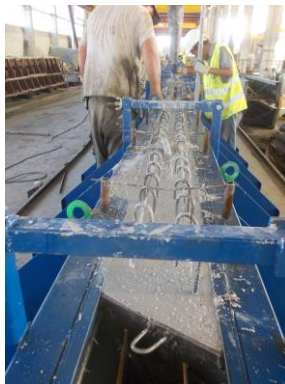
La préfabrication des poutres

- Phases de bétonnage

Une fois le talon rempli, on procède à la mise en place de la partie supérieure du coffrage.

deuxième phase:

bétonnage de l'âme et du gousset supérieur (photo ci-contre), dans lequel on a placé les armatures de couture en attente.



La préfabrication des poutres

- Décoffrage, détension des câbles, levage et stockage

- Le cycle de préfabrication était de 48 heures, dont environ 20 heures de durée de prise imposée par le critère de résistance ($R_{c,mini} = 100\text{MPa}$) pour la mise en précontrainte, qui engendrait:

$\sigma_{inf,max} = 36\text{ MPa}$ et $\sigma_{sup, min} = -2,5\text{ MPa}$

- Contrôle de la résistance au jeune âge par suivi maturométrique :
 - Ouverture du moule : pic exothermique atteint,
 - Détension des câbles:
Contrôle $R_c > 110\text{ MPa}$ sur cube (3 éprouvettes)



Les travaux sur site

- Pose des poutres au moyen d'une grue mobile de 300t (poids d'une poutre ~23t)
- Les poutres de rives sont posées pré-équipées des éléments de sécurité.
- mise en place des prédalles (coffrage perdu) entre les poutres,
- Ferrailage / bétonnage du hourdis



Conclusions et perspectives

□ Avantages de la solution technique “pont intégral à poutres en BFUP”

- Elancement important du tablier → possibilité d'abaisser le PL et de réduire les hauteurs de remblai
- Mise en œuvre rapide et sécurisée du tablier
- Durabilité du matériau BSI® → coûts d'entretien réduits
- Le tablier PRAD se prête bien à la réalisation de l'encastrement avec les pénétrations
- Optimisation des fondations : pieux Ø 1000 contre Ø1200 en base
- Ce type de pont hérite de tous les avantages des ponts intégraux en termes de gains sur les coûts de maintenance des appareils d'appui et des joints.

Le pont intégral à poutres ITE® offre une alternative intéressante et économique pour les ponts mono-travée de portée moyenne (25 à 35m).

MERCI DE VOTRE ATTENTION



Principaux Intervenants

- Mandataire : EIFFAGE GC
- Contrôle extérieur chantier : CEREMA – LRN
- Contrôle extérieur études : CEREMA - DterEst
- Suivi des Etudes : service OA du CD54
- Maîtrise d'œuvre chantier : service OA CD54