

Prefabrication des Ouvrages d'Art Innovation et développement durable



T. KRETZ Centre des techniques ouvrages d'art

Ressources, territoires et ha
Énergie et clima
Prévention des risques
Infrastructu

**Présent
pour
l'avenir**

Préfabrication des Ouvrages d'Art

Innovation et Développement Durable

- 1 - Le Développement Durable appliqué aux Ouvrages d'art
- 2 - Les apports potentiels de la préfabrication
- 3 - Innovation, préfabrication et développement durable
- 4 - Le programme ABC des Etats Unis



Le Développement Durable et les OA

Innovation et Développement Durable

- 1) Optimiser le bénéfice social et économique
- 2) Réduire les impacts sur le cycle de vie (ACV - écobilan)
- 3) Anticiper l'avenir par l'analyse de risque
- 4) Optimiser le coût global
- 5) Mesurer et réduire l'impact environnemental proche



DD - Les apports de la préfabrication



1. **Bénéfice social et économique**



Plus-value au bonheur collectif ?

2. ACV – Ecobilan
3. Coût global
4. Prévoir l'avenir : analyse de risque
5. Impact environnemental proche

- ✓ Quels bénéficiaires ?
- ✓ Gain de sécurité, temps
- ✓ Emplois générés
- ✓ Ouvrage fédérateur
- ✓ Qualité architectural - parements

DD - Les apports de la préfabrication



1. Bénéfice social et économique
2. **ACV – Ecobilan** →
3. Coût global
4. Prévoir l'avenir : analyse de risque
5. Impact environnemental proche

Impacts environnementaux

- Émission de CO2
- Consommation d'énergie
- Consommation d'eau

La préfabrication permet de réduire la quantité de matériaux utilisés en recourant à des matériaux à hautes performances

DD - Les apports de la préfabrication



Bénéfice social et économique

ACV – Ecobilan

Coût global



Prévoir l'avenir : analyse de risque

Impact environnemental proche

Coût de l'ouvrage sur sa durée de vie:

- ✓ construction
- ✓ entretien, maintenance
- ✓ **fin de vie** : à prévoir dès la conception

La préfabrication a potentiellement un avantage en termes de démontabilité en fin de vie

DD - Les apports de la préfabrication



Risques à considérer

1. Bénéfice social et économique

2. ACV – Ecobilan

3. Coût global

4. **Prévoir l'avenir : analyse de risque**

5. Impact environnemental proche



Aléas externes naturels : séismes, inondations,...

Aléas externes liés à l'activité humaine: incendie, explosion,...

Défaut initial : mauvaise conception de détail, mauvaise mise en oeuvre, défaut de matériau.

Manque de **durabilité** : corrosion, fatigue

DD - Les apports de la préfabrication



1. Bénéfice social et économique
2. ACV – Ecobilan
3. Coût global
4. Prévoir l'avenir : analyse de risque
5. **Impact environnemental proche**



- ✓ Respect de la faune et la flore
- ✓ Insertion dans le paysage et/ou bâti environnant
- ✓ Cadre historique et culturel
- ✓ **Gêne en phase chantier** (riverains, faune, flore)
- ✓ Remodelage des paysages

Innovation préfabrication et D. D.

1)Des matériaux plus performants pour des structures allégés

- * *les bétons à très haute performance auto-plaçant*
- * *les bétons fibrés ultra-performants*
- * *les aciers à très haute limité d'élasticité*

2) Des concepts structurels plus élaborés

- * *Des structures nervurées (dalles)*
- * *Des structures treillis,*
- * *Des caissons béton précontraint à âmes métalliques*
- * *Des structures mixtes préfléchies*
- * *Des structures mixtes “entièrement préfabriquées”*

3) Des matériaux organiques “renouvelables”

- * *le développement de l'emploi du bois*
- * *le développement des matériaux composites (epoxy-fibres de verre ou carbone)*



Innovation préfabrication et D. D.

Des matériaux plus performants pour des structures allégées : le BHP Auto-plaçant



Le viaduc de Compiègne



Innovation préfabrication et D. D.

Le Viaduc de Compiègne :

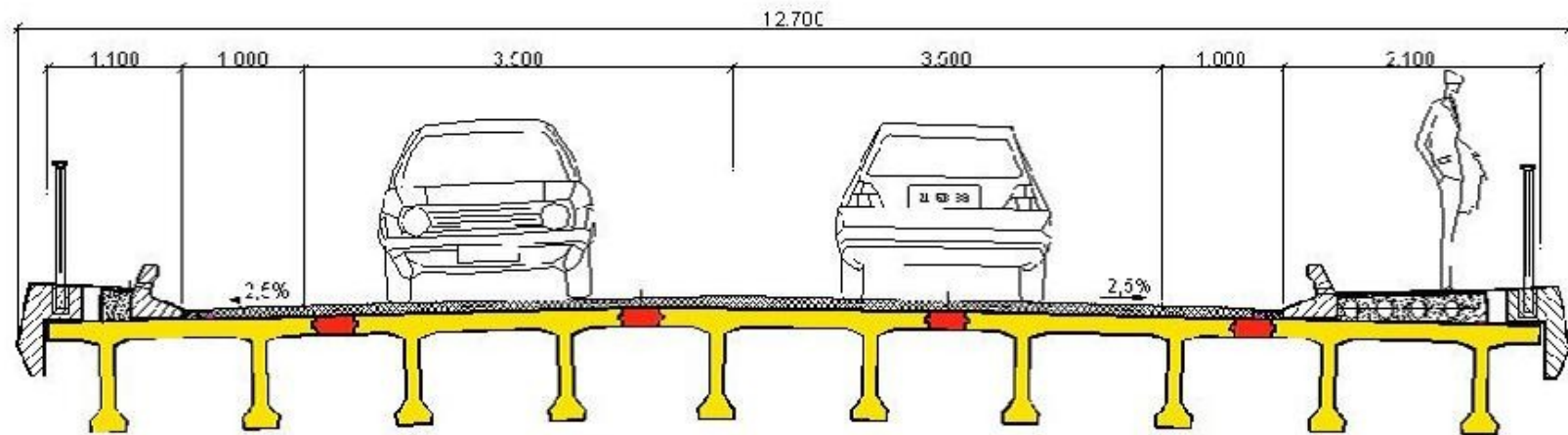
- L'application de l'Eurocode 2 a permis de réduire les épaisseurs d'âme du caisson à 30 cm, soit de 20 % par rapport aux pratiques antérieures.
- Le taux de ferrailage des voussoirs atteint 220 kg/m³.

Les BHP auto plaçants permettront d'aller encore plus loin dans la réduction des épaisseurs et l'augmentation des taux de ferrailage



Innovation préfabrication et D. D.

Des matériaux plus performants pour des structures allégées : les Bétons Fibrés Ultra Performants



Ponts de Bourg-lès-Valence : 2001



Innovation préfabrication et D. D.

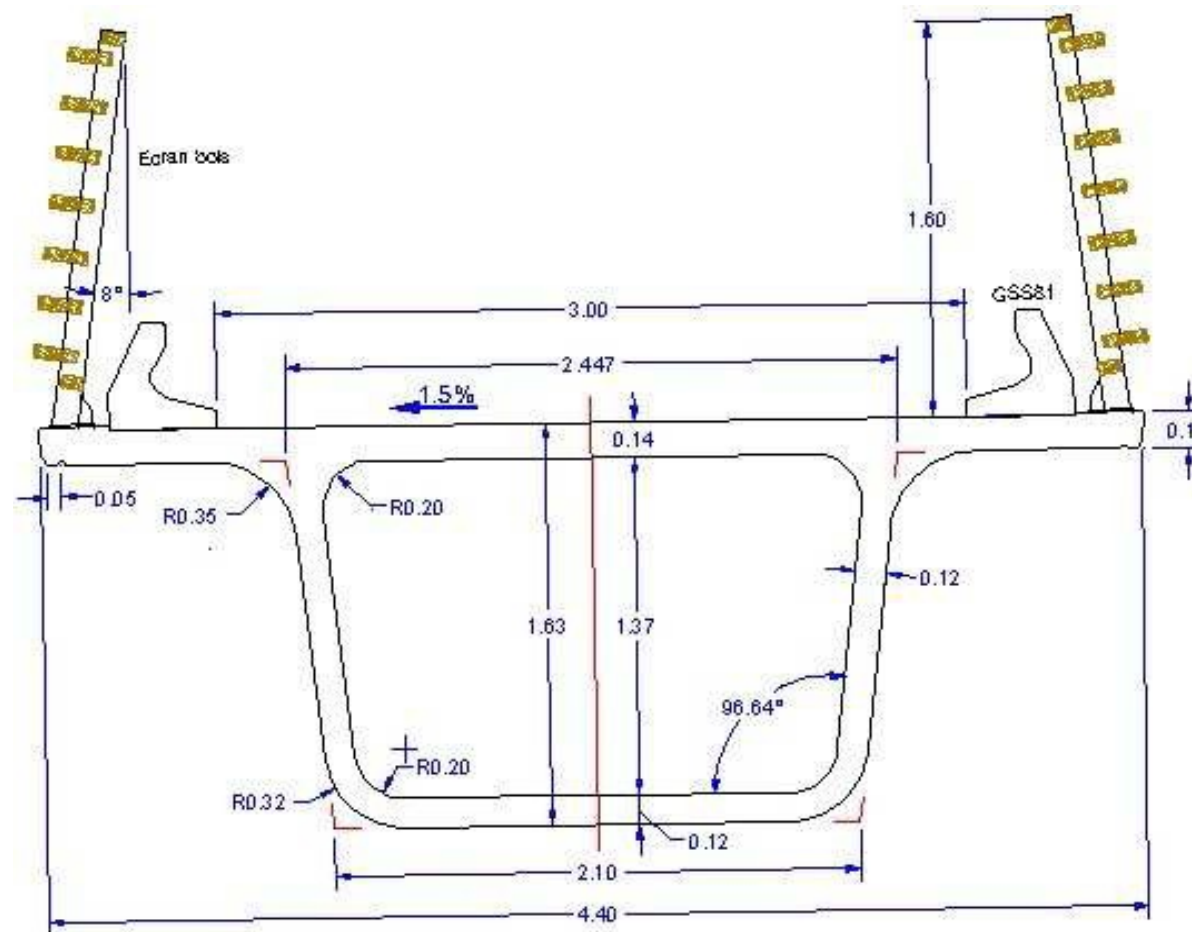
Des matériaux plus performants pour des structures allégées : les Bétons Fibrés Ultra Performants



Saint-Pierre La Cour : 2005

Innovation préfabrication et D. D.

Des matériaux plus performants pour des structures allégées : les Bétons Fibrés Ultra Performants



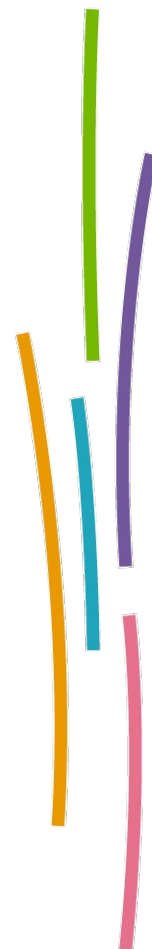
A 51 PS 34 : pas
d'étanchéité, pas de
couche de roulement

Innovation préfabrication et D. D.

Des matériaux plus performants pour des structures allégées : les Bétons Fibrés Ultra Performants

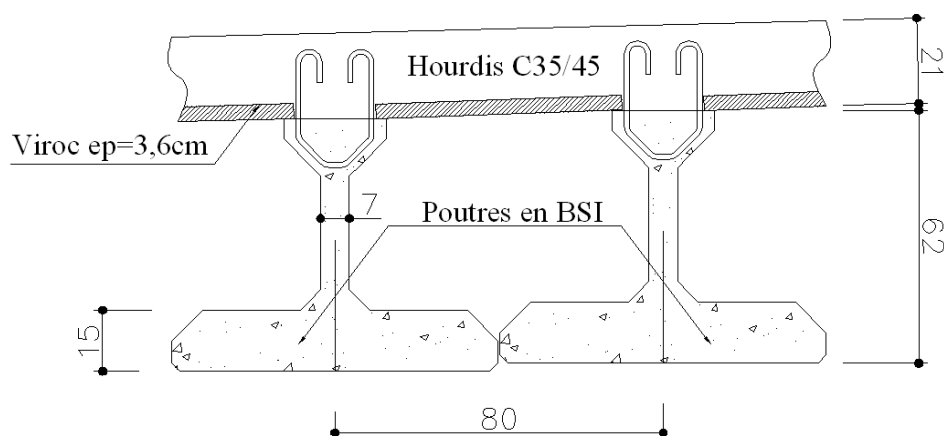
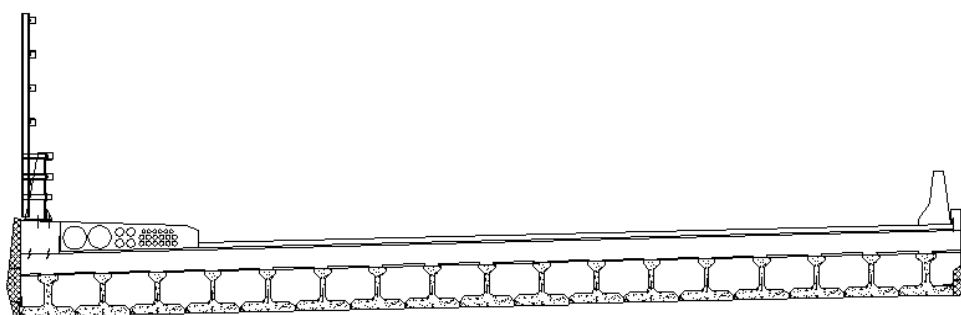


A 51 PS 34 : 20 minutes pour mettre en place la structure sur ses appuis définitifs

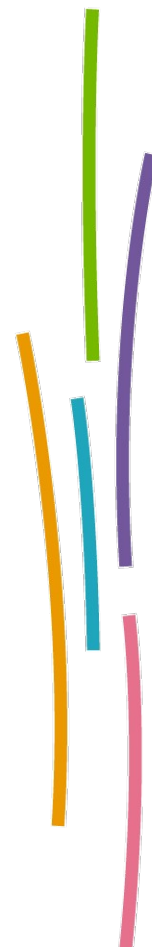


Innovation préfabrication et D. D.

Des matériaux plus performants pour des structures allégées : les Bétons Fibrés Ultra Performants



Pont Pinel (poutrelles ITE®)

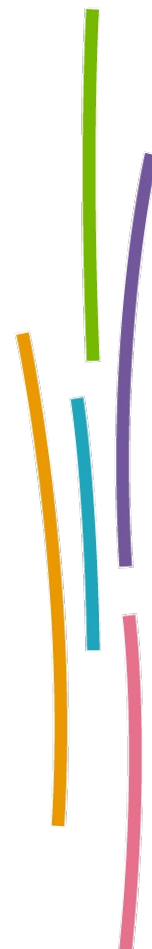


Innovation préfabrication et D. D.

Des matériaux plus performants pour des structures allégées : les Bétons Fibrés Ultra



Pont Pinel
(poutrelles
ITE®)

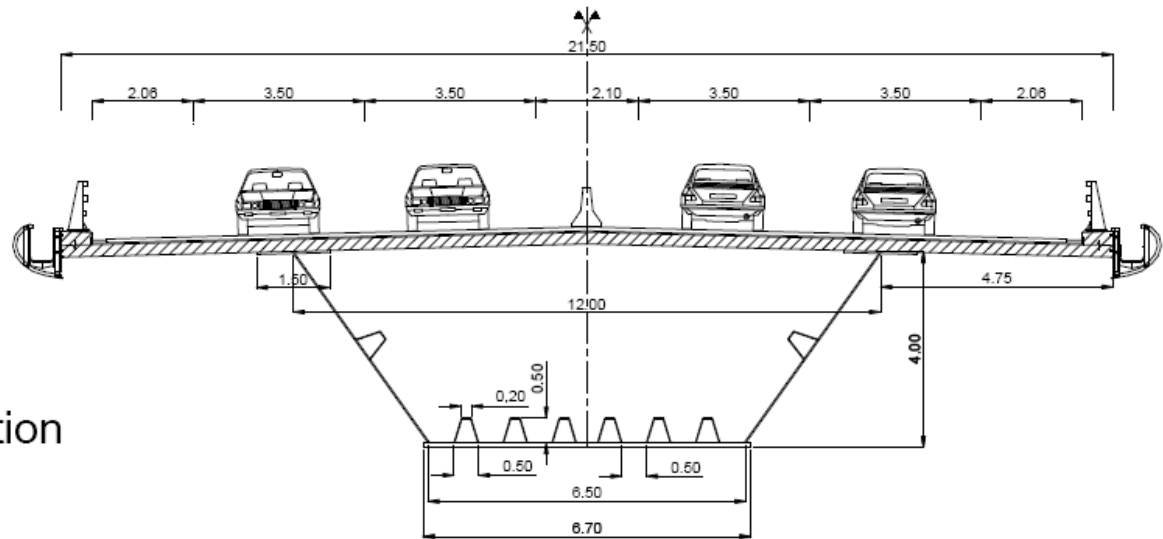


Innovation préfabrication et D. D.

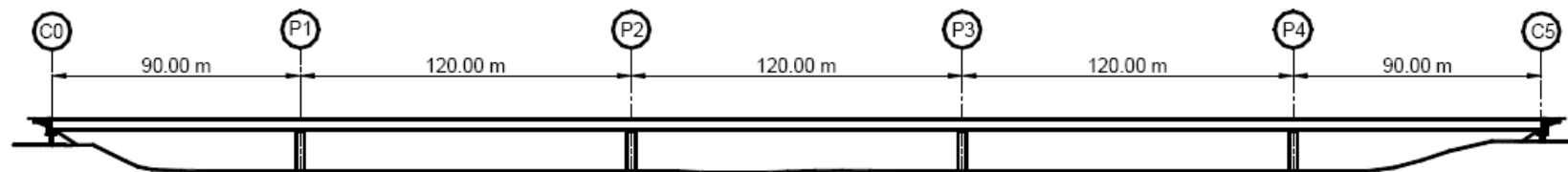
Des matériaux plus performants pour des structures allégées : Les aciers HLE

Caisson mixte : comparaison de deux solutions (Aude Petel / Sétra)

- Solution classique : acier S355 dans toutes les sections, semelles additionnelles près des appuis intermédiaires
- Solution innovante : utilisation d'acier S460 et S690



4 voies de circulation : largeur totale 21.5 m

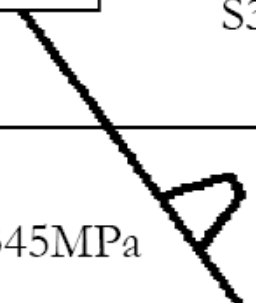
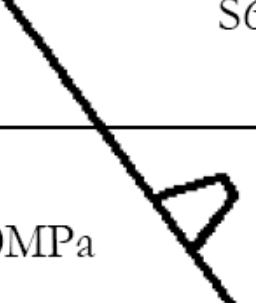


5 travées : 90 m – 3 x 120 m – 90 m

Innovation préfabrication et D. D.

Des matériaux plus performants pour des structures allégées :
Les aciers HLE - Caisson mixte : comparaison de deux solutions

Section sur appui

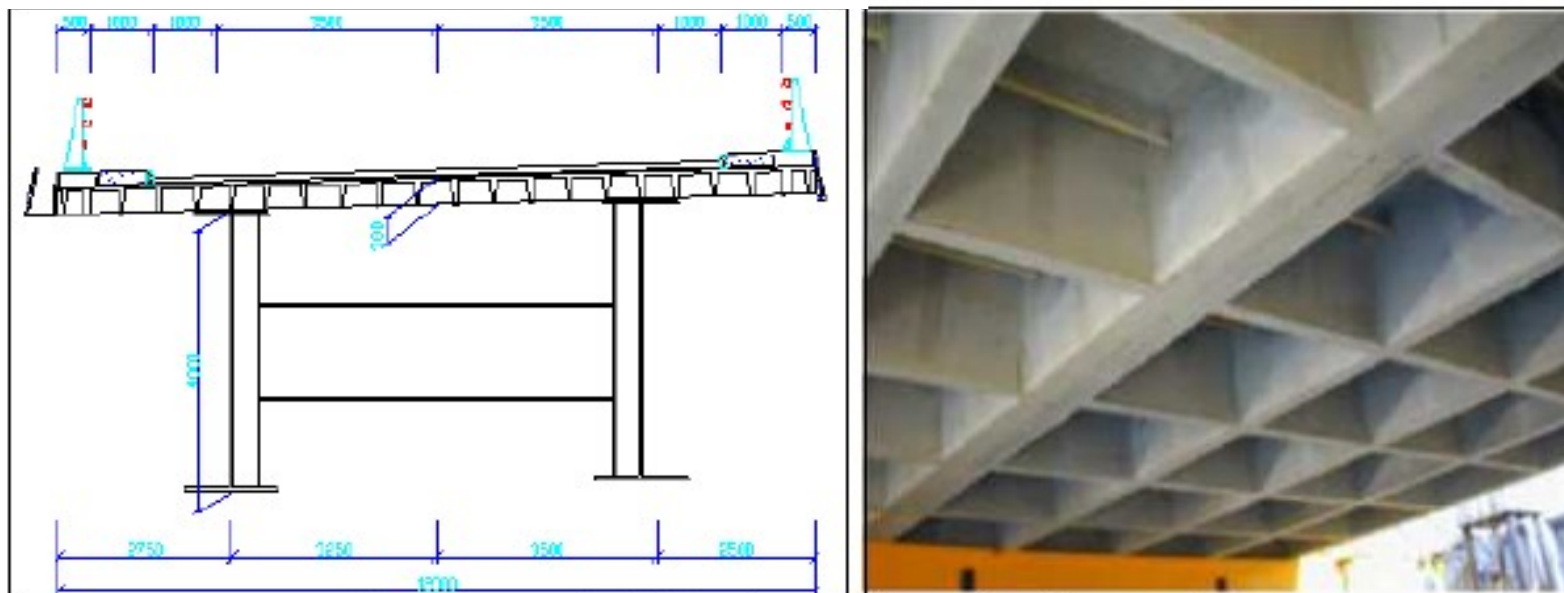
	Caisson S355	Caisson S460/S690
Membrures supérieures	1500x100 + 1400x90  S355 $f_y = 315 \text{ MPa}$	1500x70  S690 $f_y = 650 \text{ MPa}$
Âmes	27 mm S355 $f_y = 345 \text{ MPa}$ 	24 mm S460 $f_y = 440 \text{ MPa}$ 
Fond de caisson	75 mm S355 $f_y = 325 \text{ MPa}$ 	50 mm S460 $f_y = 430 \text{ MPa}$ 

Gain sur le poids d'acier : 30 %

...

Innovation préfabrication et D. D.

Des concepts structuraux plus élaborés : des structures nervurées
Exemple des dalles en BFUP

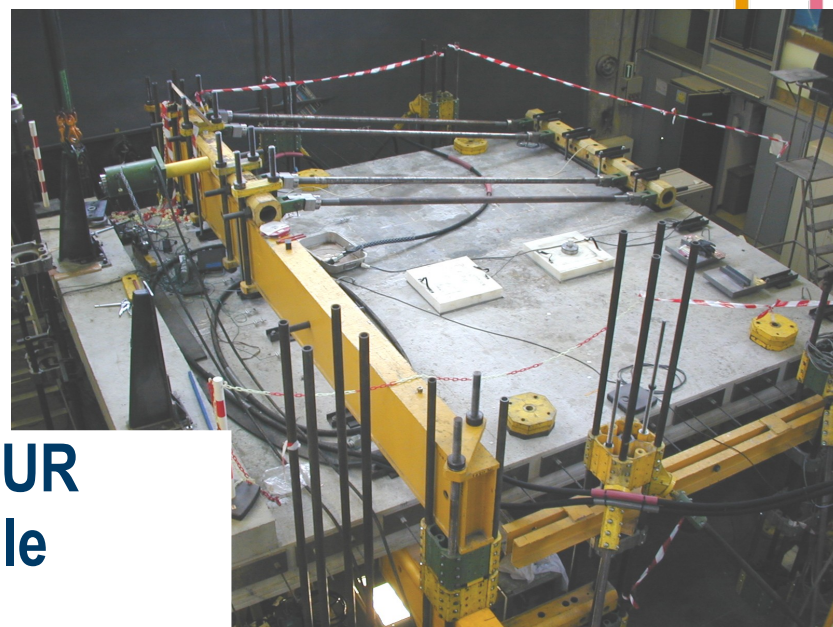
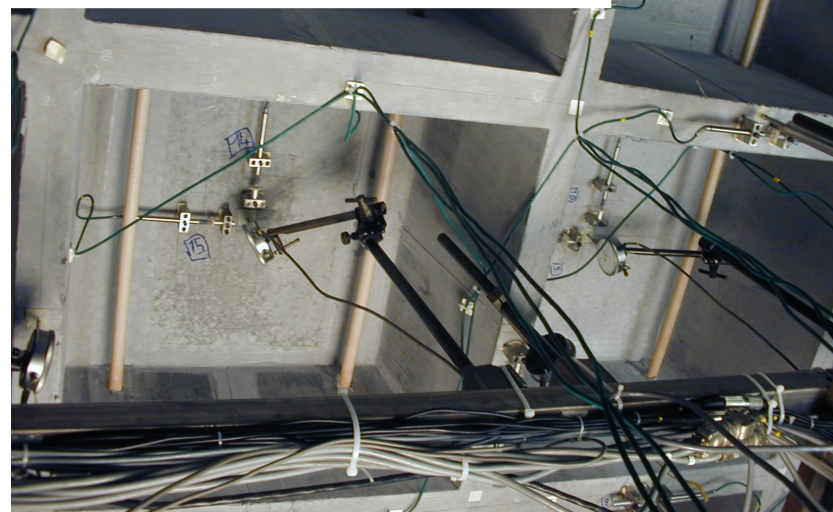


Coupe transversale du tablier et vue de dessous des dalles nervurées

Dalle de pont mixte en BFUP- (Projet proposé sur la déviation de Livron-Loriol et sur le passage supérieur de l'aire du Bosc –A75 – DIR Centre Est)

Innovation préfabrication et D. D.

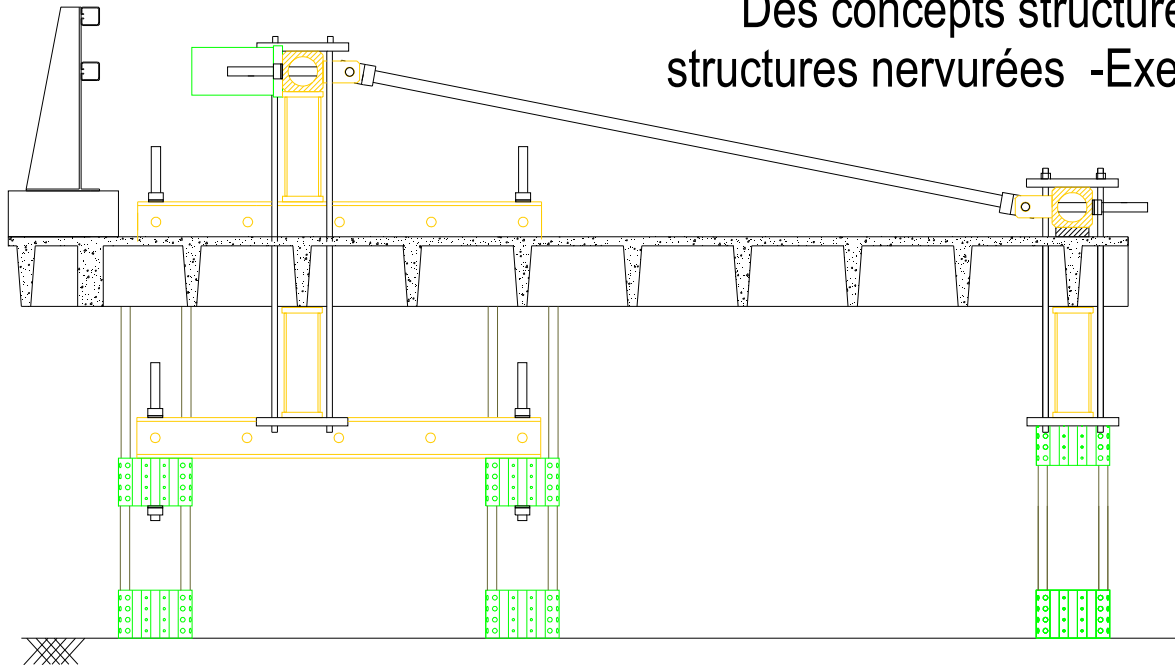
Des concepts structuraux plus élaborés : des structures nervurées
Exemple des dalles en BFUP



**CORPS D'ÉPREUVE POUR
VALIDATION sur la dalle
d'essai du LCPC**

Innovation préfabrication et D. D.

Des concepts structuraux plus élaborés : des structures nervurées -Exemple des dalles en BFUP



Innovation préfabrication et D. D.

Des concepts structurels plus élaborés : des caissons en béton précontraint à âmes métalliques – Viaduc de Meaux



Et bien sûr les âmes plissées, qui mériteraient un développement industriel

Innovation préfabrication et D. D.

Des concepts structurels plus élaborés : des structures mixtes préfléchies

PRINCIPE DE LA PREFLEXION

• Procédé industriel par phases

Phase a : contreflèche en usine (aciériste)

Phases b à d : constitution de la poutre préfléchie (savoir-faire spécialisé usine de préfabrication)

Phase e : utilisation sur site

• Caractéristiques

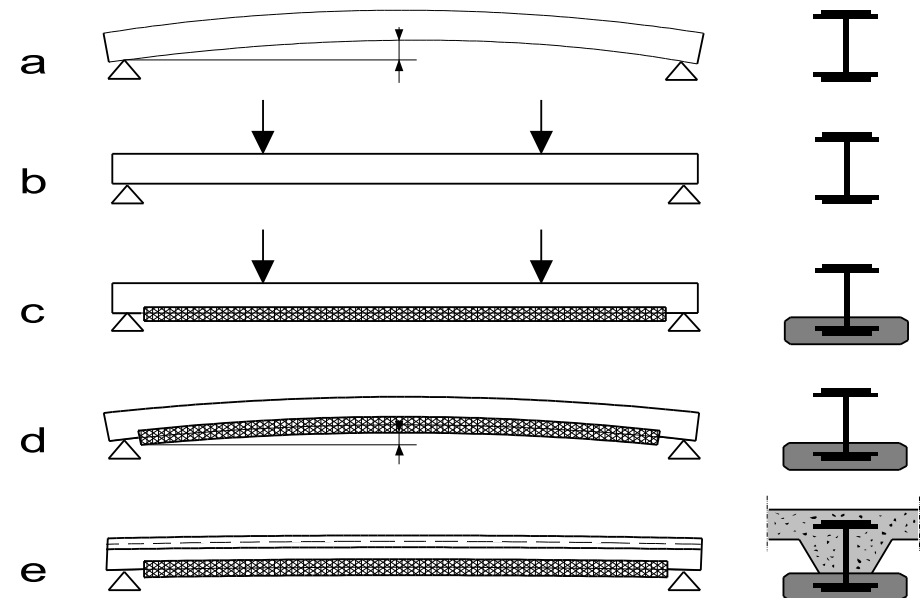
Excellent rapport rigidité / hauteur

Avantages d'un composant préfabriqué (contrôle qualité) rigide (manutention) pour réalisation rapide sur site

• PN MIKTI : optimisation avec talon B80 autoplaçant

Gain majeur sur le fluage

Gain en termes de durabilité



Innovation préfabrication et D. D.

Des concepts structurels plus élaborés : des structures mixtes préfléchies



PHASAGE

1. Décoffrage à 24 h
2. Relâchement de la préflexion : 48 h



Innovation préfabrication et D. D.

Des concepts structurels plus élaborés : des structures mixtes préfléchies

Tableaux des coefficients d'équivalence à long terme pour le béton du talon

Application aux poutres du pont instrumenté à Bruxelles
(pont ferroviaire, passage supérieur d'environ 20 m de portée)

Actions	Béton B80 FS	Béton B 50
Préflexion	10,26	22,24
Précontrainte du talon à 3 jours	10,26	22,24
Retrait	6,55	12,64
Charges permanentes après 28 j	5,76	17,95

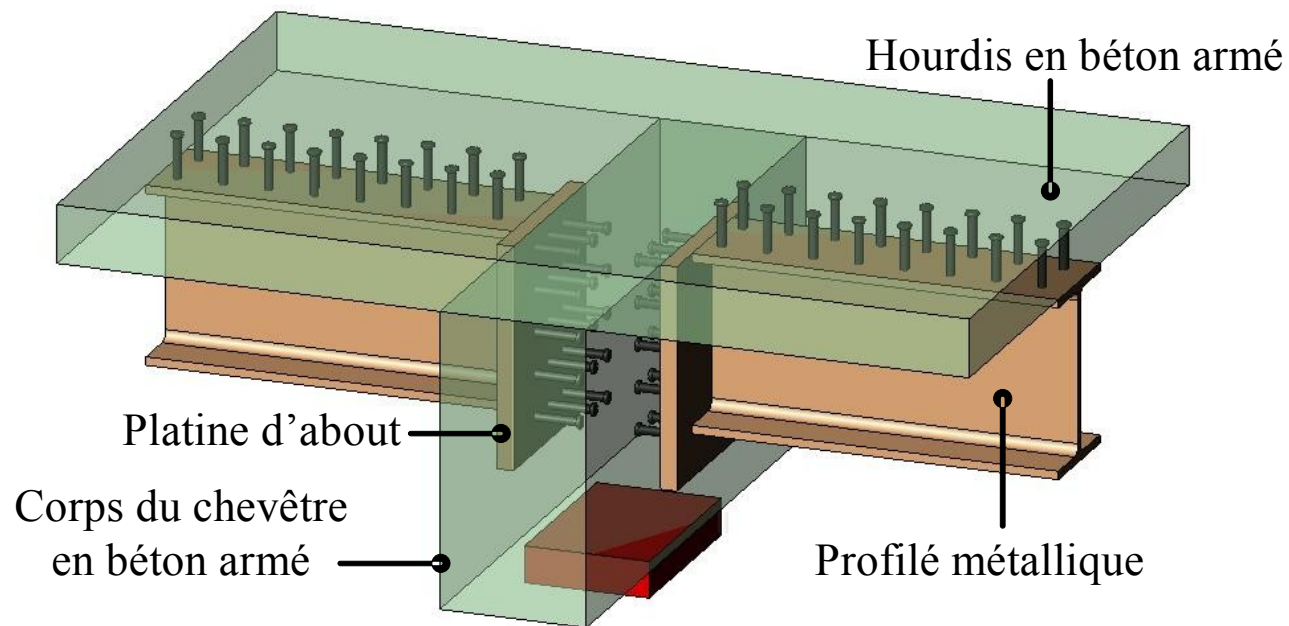




Ponts Rails en U

Innovation préfabrication et D. D.

Des concepts structurels plus élaborés : des structures mixtes entièrement



- PN MIKTI (Insa Rennes) : optimisation conception

Innovation préfabrication et D. D.

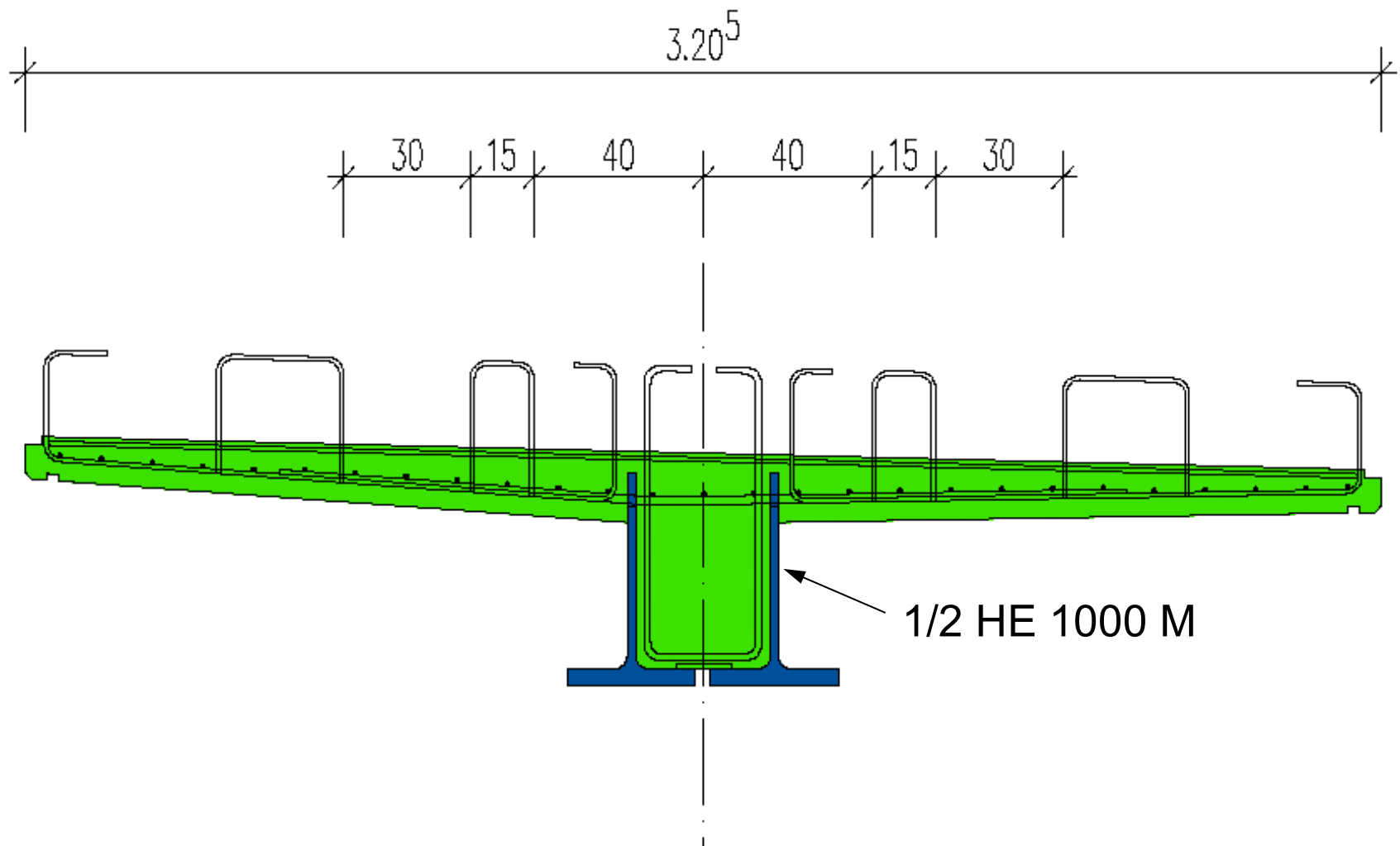
Des concepts structuraux plus élaborés : des structures mixtes entièrement préfabriquées : dalles préfabriquées précontraintes



Retour d'expérience sur un ouvrage autoroutier (ESCOTA) : 2004

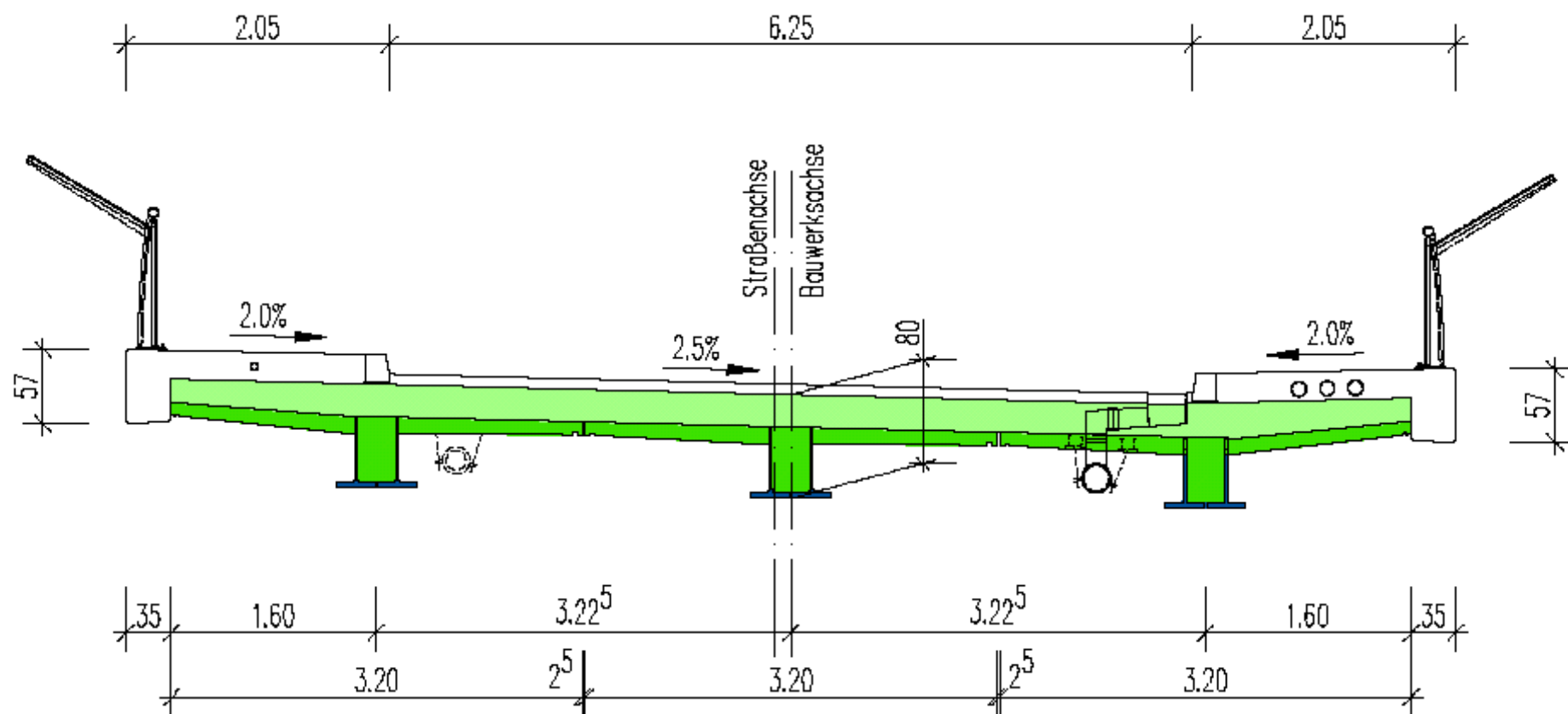
Innovation préfabrication et D. D.

Des concepts structurels plus élaborés : des structures mixtes préfabriquées avec semelles supérieures en béton



Innovation préfabrication et D. D.

Des concepts structurels plus élaborés : des structures mixtes préfabriquées avec semelles supérieures en béton







Achtung!
Ladung
schwenkt aus

80

SW-BB 108

Marschall
Lang u. Schwertransporte
96181 Wustviel Tel. 09554 / 400

Achtung!
Ladung
schwenkt aus

Innovation préfabrication et D. D.

Des matériaux organiques renouvelables : le bois

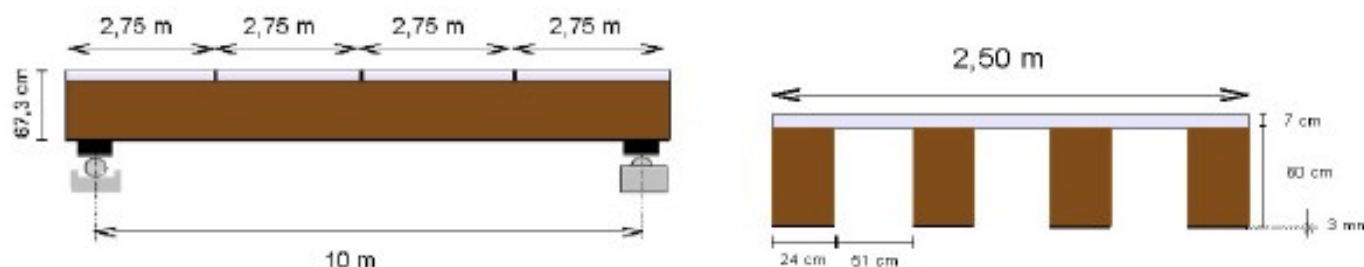


Figure 1 : The 10 m-span bridge model

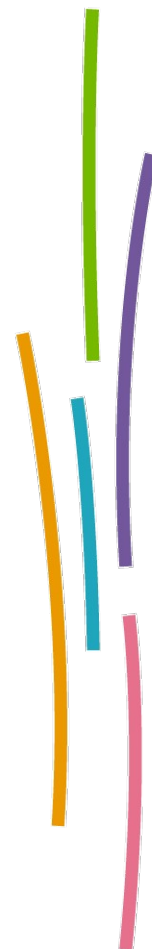
Ponts à poutres en bois connectées à une dalle en BFUP

Innovation préfabrication et D. D.

Des matériaux organiques renouvelables : les composites



Exemple de pont en matériau composite : Kings storm water bridge (USA 2000)



Innovation préfabrication et D. D.

Aux Etats Unis

<http://www.fhwa.dot.gov/bridge/prefab/if09010/>

Publication FHWA if 09 018

*Connection Details for Prefabricated Bridge
Elements and Systems*

“ Prefabricated components of a bridge produced off-site can be assembled quickly, and can reduce design time and cost, minimizing forming, minimize lane closure time and/or possibly eliminate the need for a temporary bridge. This document has been developed to promote the use of prefabricated elements and systems in bridges and focuses on "Connection Details" as part of accelerated construction projects. Accelerated Bridge Construction is one of the prime focus areas of the Office of Infrastructure of Federal Highway Administration. “



Innovation préfabrication et D. D.

En France

<http://www.setra.equipement.gouv.fr/Innovations-et-ouvrages-d-art-Pour.html>

Rapport du Sétra sur l'innovation dans le domaine des OA

“Les ouvrages d'art sont des ouvrages de génie civil emblématiques. Ils sont le lieu d'expression privilégié de l'innovation dans les domaines des matériaux et structures de génie civil, en raison du haut niveau de performances qu'ils exigent. Ce rapport illustre les opportunités d'innovations qu'apportent aujourd'hui les ouvrages d'art. Celles-ci sont nombreuses et prometteuses. “



Pour conclure



***Et toujours : des
beaux ouvrages***