

## Objectifs

Les ponts de 35 à 80 m de portée entre appuis sont depuis les années 80 très souvent réalisés en France en construction mixte acier-béton. Dans le même temps les matériaux, aussi bien l'acier que le béton, ont évolué dans des proportions importantes, des novations sont apparues, les enjeux se sont modifiés. Il a donc paru utile à tous les acteurs impliqués dans ce type de construction de travailler en commun sur ses performances et ses possibilités d'évolution en vue de conforter son développement.

Le thème central du projet de recherche a été la mise en valeur des potentialités de la connexion mixte entre l'acier et le béton dans les ouvrages d'art : par la prise en compte des évolutions récentes des deux matériaux de base, par la diversification des techniques de connexion, par l'analyse des avantages que la mixité apporte au cours de la vie des ouvrages.

# Projet National MIKTI

## Ponts et passerelles mixtes de demain

### Programme réalisé

Le *Projet National MIKTI*, projet de R & D à un stade très appliqué – voire technologique – a été organisé autour de cinq thèmes :

# 1

#### Les ouvrages mixtes de petite portée

Animé par **Philippe RAMONDENC** et **Didier MARTIN (SNCF)**

Les ouvrages de petite portée, les plus nombreux, échappent largement à la technique de la construction mixte.

Dans le cadre de ce thème de nombreuses pistes ont été explorées ou approfondies :

- actualisation de la méthode de calcul et optimisation de la technique des poutres préfalcées par utilisation de bétons THP (basée notamment sur une expérimentation sur des poutres de 13 m de longueur au LCPC et l'instrumentation d'un pont ferroviaire à Bruxelles),
- les techniques de rabotage innovantes (INSA de Rennes),
- les tabliers mixtes multipoutres (INSA de Lyon),
- les tabliers à poutrelles enrobées de béton (CTICM – CCS).

Dans ce thème ont donc été réunis des travaux sur la validation, l'amélioration ou l'optimisation de procédés déjà connus (poutrelles enrobées, PREFLEX, multipoutres) et des études d'innovation (techniques de rabotage).



**Pont de Choisy**  
Rabotage par platine d'about connectée à un chevtre béton.



Essai à rupture d'une poutre mixte préfalcée de nouvelle génération.  
©LCPC





Prototype de dalle gauffrée en BFUP.  
© LCPC

## 2

### Les dalles en béton

**Animé par Louis DEMILECAMPS (Vinci Construction)**

Deux sujets stratégiques liés à des développements importants en termes d'évolution des conceptions d'ouvrage ont été étudiés.

- La préfabrication des dalles et la mise en œuvre sur chantier de leur continuité (clavage, joints secs, joints collés, précontrainte). En particulier une conception innovante de dalle gauffrée en BFUP (CETE de Lyon, Sétra) a été validée au LCPC par un large programme expérimental sur des dalles prototypes. Cette conception est susceptible d'étendre sensiblement le domaine de portée des ponts mixtes en apportant des avantages décisifs en termes de légèreté et de durabilité.
- La connexion acier-dalle béton :
  - connexion ponctuelle et par paquets de connecteurs (INSA de Rennes),
  - connexion directe de l'âme métallique dans le béton de la dalle : suppression de la semelle métallique supérieure (ENSAIS puis IUT de Strasbourg, CETE de l'Est).

Par ailleurs ce thème a exploré la faisabilité de l'introduction des techniques de collage acier-béton dans les ouvrages mixtes (caractérisation des colles au Laboratoire L2M de Lyon et essais sur maquettes à l'Université de Reims). Enfin la rigidité de la liaison transversale dalle-poutre a été caractérisée par des essais à EPFL et numériquement au CTICM.

« Ce thème a exploré la faisabilité de l'introduction des techniques de collage acier-béton dans les ouvrages mixtes. »

## 3

### Amélioration du bi-poutre traditionnel

**Animé par Fereydoun TAVAKOLI (CETE de Lyon)**

Ce type d'ouvrage très présent sur les portées moyennes (35 à 80 m et jusqu'à 100 m) étant encore susceptible d'amélioration, d'optimisation, de simplification et d'innovation, plusieurs pistes ont été suivies par le biais d'études de plus en plus détaillées de projets d'ouvrages.

Ainsi 13 études d'APS ont été réalisées :

- bi-poutre classique en tant que référence,
- bi-poutre épuré : par exemple entretoises simplement boulonnées sur des montants en simple plat. Etude affinée au stade APD par le CETE de Lyon,
- bi-caisson épuré : petits caissons sans raidissage longitudinal et sans entretoisement transversal en partie courante,
- bi-poutre avec hourdis et/ou treillis horizontal en partie basse (amélioration de la rigidité avec augmentation de la redondance). Etude affinée au stade APD par le CTICM.



Essai Push-out de la connexion dalle gauffrée BFUP - charpente métallique. © LCPC

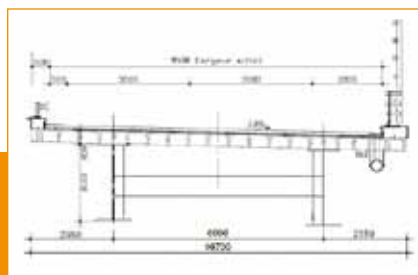
## 4

### Utilisation et assemblages de tubes

**Animé par Jacques BERTHELLEMY (Sétra)**

Dans ce thème trois études ont été menées pour progresser sur ce sujet :

- une synthèse de la bibliographie disponible sur le renforcement des assemblages tubulaires par bétonnage ou remplissage de l'assemblage par un matériau d'injection adapté (CTICM),
- une étude technico-économique d'ouvrages d'art à deux membrures tubulaires renforcées par béton confiné (Ingerop, Michel Virlogeux et INSA de Lyon),
- une analyse aux éléments finis d'un ouvrage à deux tubes remplis de béton (DRE Ile de France et LCPC).



Profil en travers projet Livron-Loriol BFUP (étude CETE de Lyon)



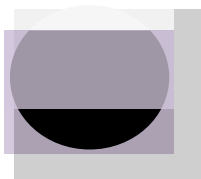
Contrôle non destructif par ultrasons.

## 5

### Evaluation et maintenance des ponts mixtes

Animé par Christian CREMONA (LCPC)

Les recherches dans ce thème ont été centrées sur la fiabilité des outils de détection de l'initiation d'une fissuration afin de contrôler ses conséquences entre deux inspections et sur une meilleure connaissance des paramètres à employer dans les modèles de calcul statistique de la fiabilité d'une structure mixte. Les travaux ont consisté en la réalisation d'essais de fatigue sur des assemblages métalliques pour étudier les seuils de détection des fissures suivant les différentes méthodes d'auscultation (LCPC, CETE de Lyon, EPFL). Ceci afin de permettre d'améliorer les méthodes d'inspection des ouvrages et la définition des mesures de réparation à entreprendre.



### Organisation

#### La Direction du Projet

- Président : Jacques LARAVOIRE (CGPC)
- Directeur Technique : Bruno CHABROLIN (CTICM)
- Directeur Scientifique : Thierry KRETZ (LCPC – Sétra)
- Suivi IREX : Lucien WAHL

#### Les partenaires

- ASF - Atofina - Baudin Châteauneuf - Bouygues -
- CEBTP - CTICM - Cofiroute - CUST Clermont-Ferrand
- - Demathieu & Bard - Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne - Eiffel - ElektroBéton - ENSAIS - FNTP
- - GTS Industries - GTM Construction - INSA de Lyon -
- INSA de Rennes - Richard Ducros - Joseph Paris - L2M (Université de Lyon) - LCPC - OTUA - ProfilArbed -
- Razel - TUC rail - SANEF - Scetauroute - Secometal -
- SETEC TPI - Direction des Routes (Sétra, CETE, DREIF)
- - SNCF - Systra - Tonello - Université de Champagne-Ardennes - Usinor - Viry



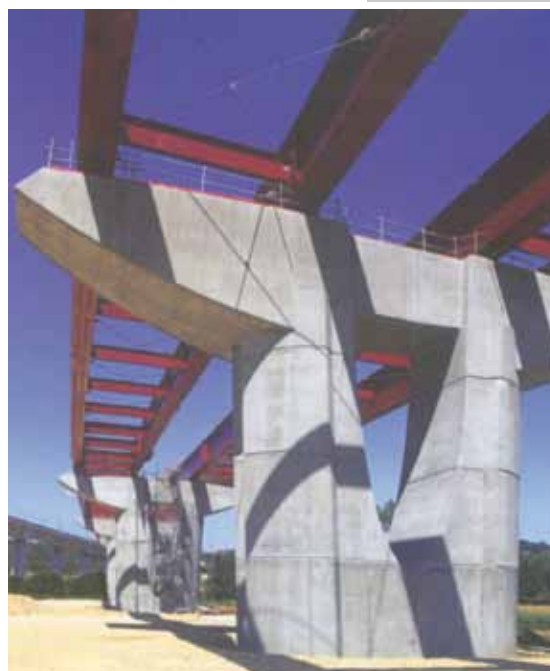
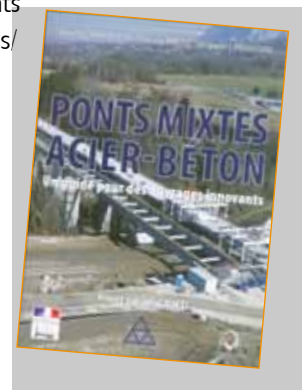
### Durée Budget

- Le Projet National MIKTI s'est déroulé de 2001 à 2006.
- La rédaction des rapports de synthèse des résultats ainsi que du guide technique s'est poursuivie jusqu'en 2009.
- Le budget s'est élevé à 4 101 000 € HT dont une subvention de la DRAST de 898 000 € HT, le solde en apports en nature et cotisations des partenaires.



### Publications

- Les travaux de ce projet ont fait l'objet de nombreuses publications scientifiques et techniques (50) diffusées dans des conférences et revues internationales et d'un guide :
- « **Ponts mixtes acier-béton : Un guide pour des ouvrages innovants** » édité par les Presses de l'Ecole Nationale des Ponts et Chaussées (français/anglais) et publié en 2010.



Rhône-Alpes. Viaduc de la Côtère (A 432)  
Crédit photo : Hubert Canet, Balloïde-Photo



# Applications et retombées du Projet National

## Les travaux du Projet National MIKTI ont permis :

- Le développement de méthodes de calcul et de dimensionnement plus économiques pour trois dispositions de raboutage des poutres continues et l'identification de prolongements de recherches sur ces méthodes tant au plan expérimental que numérique et analytique.
- De proposer des recommandations pour le dimensionnement (rigidité, résistance) et les dispositions techniques à adopter (espacement des goujons, armatures, matériaux de scellement) pour la réalisation des connexions groupées.
- La confirmation des méthodes de calcul avancées de prise en compte du retrait-fluage du béton dans les structures mixtes (applications à venir par confortement du document d'appui de l'Eurocode 2).
- De nombreuses avancées validant le comportement des BFUP dans des applications structurelles (actualisation des recommandations AFGC), et la mise au point d'une nouvelle conception d'ouvrages mixtes à dalle en béton fibré ultra-performant. La réalisation d'un premier ouvrage de ce type est prévue sur la déviation de la RN7 à Livron-Loriol.

“ Une avancée significative sur les conditions à remplir pour envisager une première réalisation expérimentale de connexion par collage d'une dalle de béton sur des poutres d'acier. ”

Passerelle Autoroute A75 - © FNTP

Une deuxième solution, adaptée à des ouvrages autoroutiers de grande portée, a également été développée au Sétra et présentée au Congrès Eurosteel (Graz, septembre 2008) recevant le prix de la meilleure communication du Congrès. L'utilisation combinée de l'acier à Haute Limite d'Elasticité et d'une dalle en BFUP permet une réduction substantielle du tonnage d'acier de la charpente.

- Une évaluation critique des méthodes de contrôle non destructif concernant l'inspection des structures métalliques.

La Direction des infrastructures terrestres du MEEDDAM a par ailleurs commandé au Sétra une étude visant à introduire les principes de l'inspection ciblée et raisonnée, objet du thème 5 du Projet National, dans le système de gestion des ponts routiers en France. L'objectif est d'optimiser les intervalles des inspections grâce à l'utilisation de techniques de contrôle non destructif, et de maintenir le haut niveau de fiabilité du patrimoine d'ouvrages d'art malgré son vieillissement, sans augmenter le coût de sa maintenance.

“ L'utilisation combinée de l'acier à Haute Limite d'Elasticité et d'une dalle en BFUP permet une réduction substantielle du tonnage d'acier de la charpente. ”



Pont mixte - Nouveau pont sur le Gardon  
Crédit photo : © ASCO-TP/  
Daniel Vandros

