

Ouvrages d'art



SOMMAIRE

Bulletin du Centre
des Techniques d'Ouvrages d'Art

TECHNIQUES PARTICULIÈRES

**Élargissement d'un Psidn (AU52)
Création d'une 4^e voie sur l'A31 à Richemont**
Hervé Marneffe, Fabien Renaudin,
Pierre Corfdir

☛ P. 2

INCIDENTS, RÉPARATIONS

**Technique innovante : traitement des
câbles de précontrainte par injection
d'un inhibiteur de corrosion
au moyen d'une pompe à ultrason de
puissance - Application aux viaducs à travées
indépendantes à poutres précontraintes
(Vipp) et à d'autres structures précontraintes**
Pierre-Marie Dubois, Daniel Michaux

☛ P. 8

QUALITÉ, ORGANISATION

**La liaison Est-Ouest d'Avignon
Ou comment un ouvrage routier peut
contribuer à valoriser l'environnement et
améliorer la biodiversité**
Robert Bonnefoy, David Ranfaing,
Jacques Resplendino, Joël Pou,
Frédérique Gerbeaud-Maulin

☛ P. 20

INFORMATIONS BRÈVES

Pièces écrites types de réparation

☛ P. 30

Stages

☛ P. 31

LE KIOSQUE DU SÉTRA

**Les dernières publications
Ouvrages d'art**

☛ P. 31

Directeur de la publication : Philippe Redoulez. Comité de rédaction : Thierry Kretz, Emmanuel Bouchon, Angel-Luis Millan, Gilles Lacoste (Sétra), Pierre Paillusseau (CETE du Sud-Ouest), Jean-Christophe Carles (CETE Méditerranée), Bruno Godart (LCPC), Benoit Portier (CGPC/MIGT11), Jean-Loup Castellani (DIRCO/SPT/BOA). Rédacteur en chef : Nicole Cohen (Sétra) - tél : 01 46 11 31 97. Conception graphique et réalisation : Eric Rillardon (Sétra) - tél : 01 46 11 33 42. Impression : Caractère. 2, rue Monge - BP 224-15002 Aurillac Cedex - ISSN : 1266-166X - ISBN : 978-2-11-094648-5 © Sétra - 2008

Élargissement d'un Psidn (AU52)

Création d'une 4^e voie sur l'A31 à Richemont

Hervé Marneffe, Fabien Renaudin, Pierre Corfdir

L'élargissement de l'A31 à Richemont

L'autoroute A31 est l'axe routier sud-nord structurant du sillon mosellan. Construite à la fin des années 60, elle relie Nancy, Metz et le Luxembourg. Au nord de Metz, l'A31 se scinde en deux, une branche dessert le Luxembourg, l'autre Longwy (A30) (figure 1).

Cette bifurcation pose problème, car sa configuration est mauvaise: elle s'opère sur seulement 400 m (figure 2 actuel) et la conception initiale favorise le flux vers Longwy, alors que les 2/3 du trafic continuent vers le Luxembourg. D'autres éléments, comme la mauvaise perception visuelle de la divergence, concourent à la dangerosité des échanges.

Un réaménagement de cette bifurcation a donc été conçu et inscrit au contrat de plan pour offrir deux voies de desserte vers le Luxembourg avec une longueur d'entrecroisement suffisante (≈ 1000 m).

Les contraintes de cet aménagement sont nombreuses : L'exploitation de l'A31, les constructions avoisinantes (un Oxyduc Air Liquide, une conduite d'eau, des lignes électriques Ht nombreuses), les champs d'inondation de l'Orne et de la Moselle.

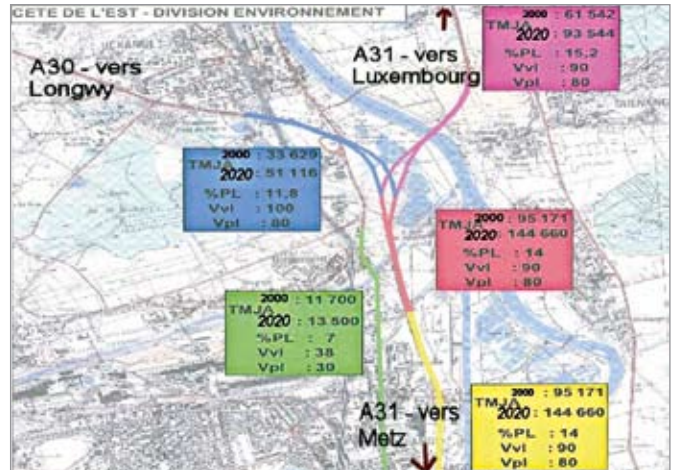


Figure 1 : plan de situation - Source : CETE de l'Est

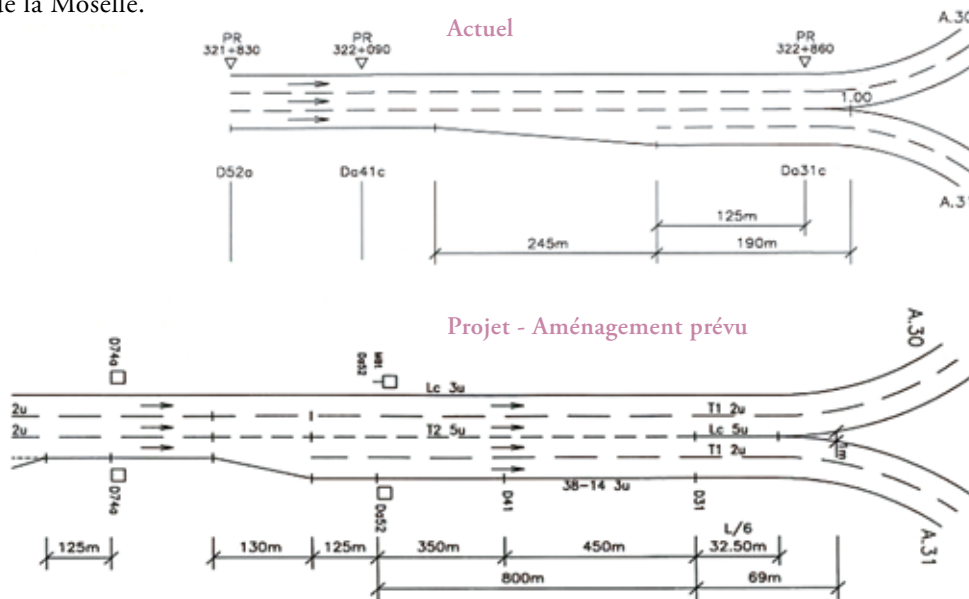


Figure 2 - Source : CETE de l'Est

Les ponts à élargir

Trois passages inférieurs en cadre fermé (PICF) et un passage inférieur en dalle nervurée (PIDN) de 90 m de long sont à élargir. Pour les 3 PICF (les AU51, AU53, AU54), des ouvrages à murs en retour suspendus, l'élargissement sera un PICF de même géométrie.

La liaison entre le cadre rajouté et le cadre existant est faite par des aciers scellés reprenant le ferrailage transversal tant dans les piédroits que dans la traverse supérieure.



Photo 1 : PICF type, ici « AU51 » (portée 7,40 m ; un des ouvrages de décharge hydraulique de cette zone inondable) – Source : Hervé Marneffe (CETE de l'Est)

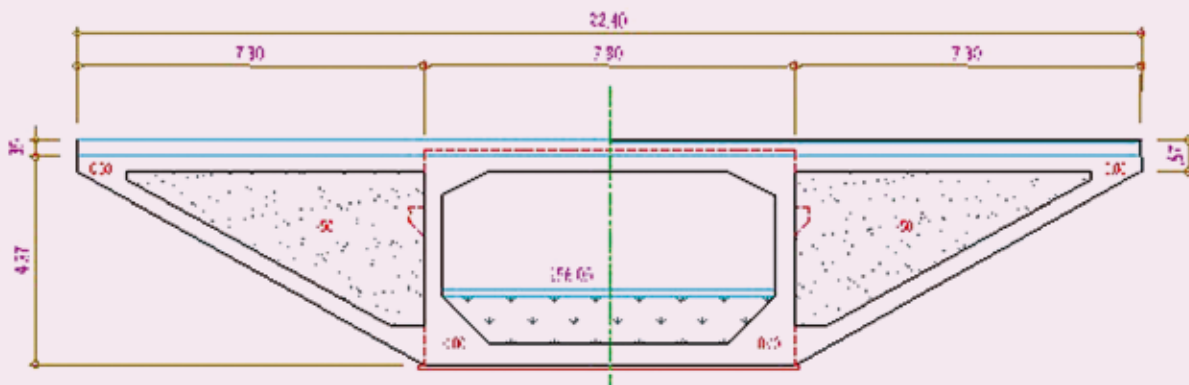


Figure 3 : AU51, coupe longitudinale – Source : CETE de l'Est

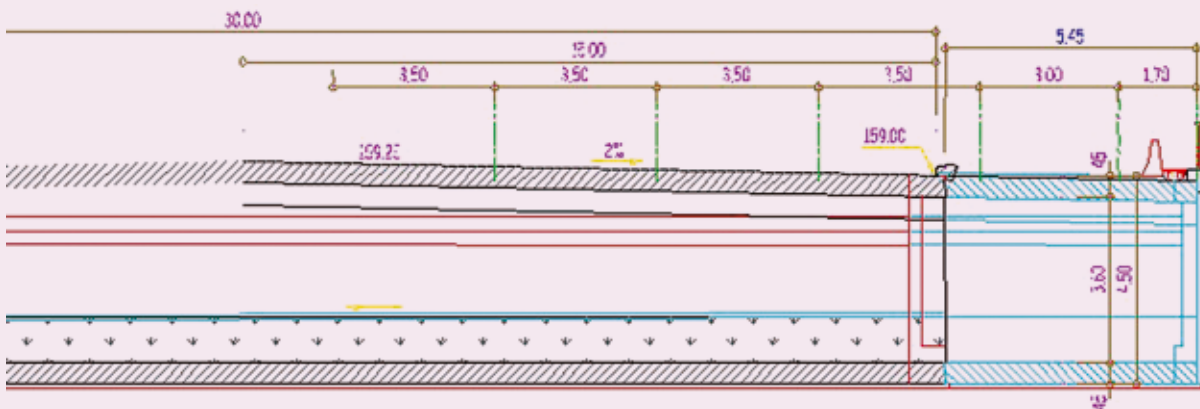


Figure 4 : AU51, coupe transversale avec élargissement – Source : CETE de l'Est

L'ouvrage principal (photo 2) est un PIDN « AU52 » qui franchit l'Orne avec les caractéristiques suivantes :

- biais de 60,33 grd,
- 5 travées : 15,80 m, 19,80 m, 19,80 m, 19,80 m et 15,80 m.

L'élargissement nécessaire est de 6,50 m pour porter une voie nouvelle et la BAU.

Comme l'ouvrage actuel est précontraint longitudinalement mais aussi transversalement, les points les plus délicats sont le choix de la structure porteuse de l'élargissement et la conception de sa liaison à l'existant.

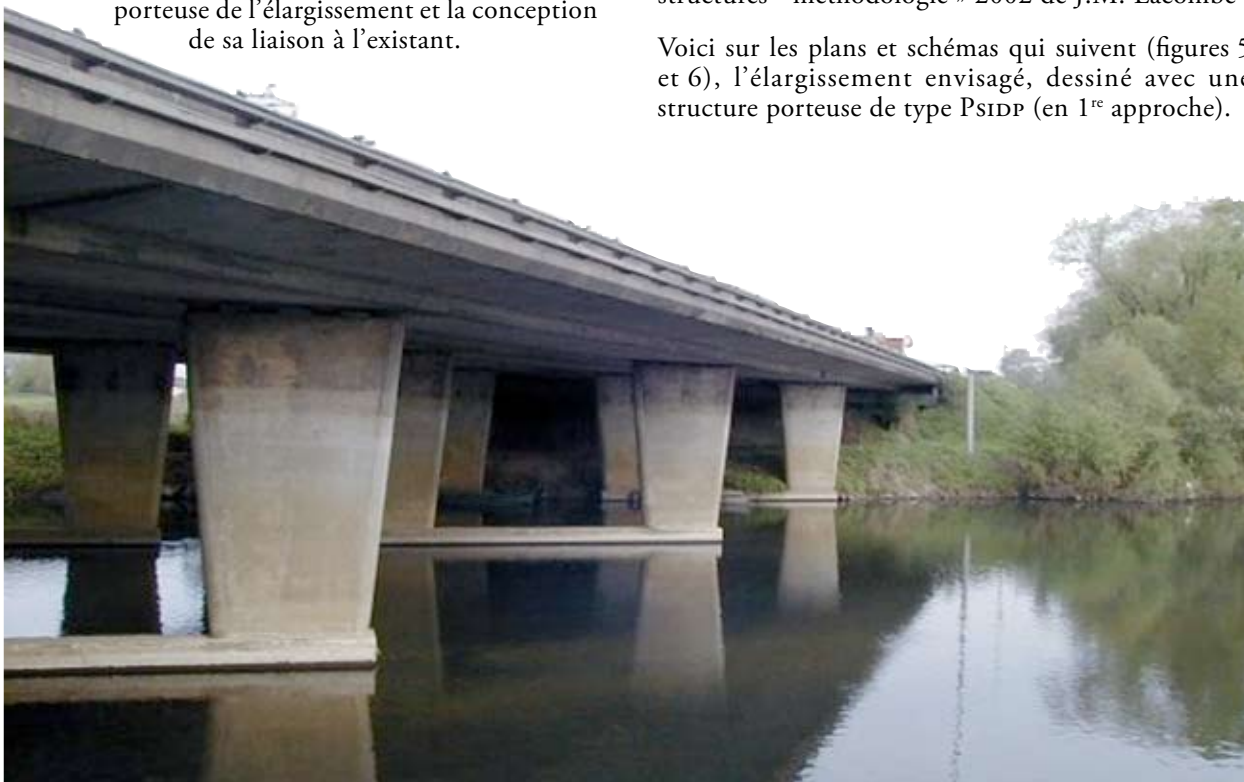


Photo 2 : PIDN « AU52 » – Source : Hervé Marneffe (CETE de l'Est)

La bibliographie française est peu nombreuse sur le sujet :

[1] Bulletin de liaison du CTOA n°33 décembre 99 « traitement d'un joint longitudinal » de M. Fragnet et Y. Meuric

[2] Guide Sétra « élargissement des ponts en maçonnerie »

[3] Dossier ODE77 (sous dossier 6) du Sétra (fiches d'ouvrages divers et élargissements)

[4] Fiche technique interne Sétra « élargissement des structures - méthodologie » 2002 de J.M. Lacombe

Voici sur les plans et schémas qui suivent (figures 5 et 6), l'élargissement envisagé, dessiné avec une structure porteuse de type PsIDP (en 1^{re} approche).



Figure 5 : AU52, PIDN, Coupe longitudinale – Source : CETE de l'Est

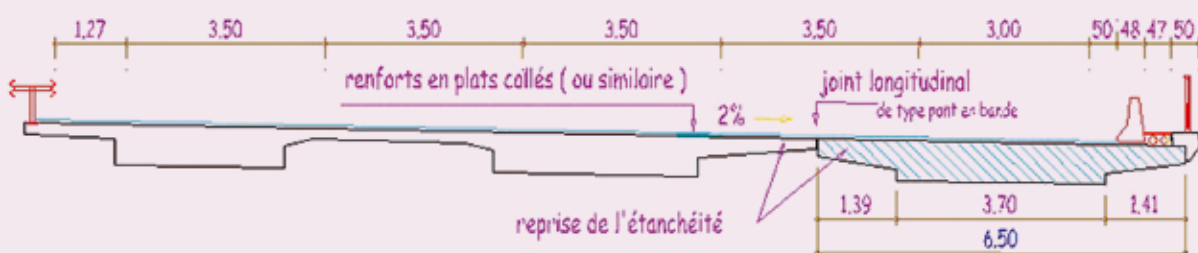


Figure 6 : AU52, PIDN, Coupe transversale avec élargissement (élargissement PIDP supposé au départ) – Source : CETE de l'Est

Les solutions du PoA pour le PIDN « AU52 »

Suite à l'étude préliminaire, deux solutions ont été étudiées au projet, l'une où l'élargissement est simplement accolé à l'ouvrage existant, l'autre où l'élargissement est liaisonné.

Choix du tablier

Dans les deux options, l'objectif était d'avoir une structure porteuse de même élanement pour des raisons esthétiques et de respect de gabarit sous l'ouvrage, et surtout d'avoir une structure qui présente peu de déformations différées pour limiter les déformations ou les efforts différentiels entre les deux tabliers.

Notre choix s'est porté sur un pont à poutrelles enrobées qui est bien adapté à la gamme de portée (20 m) rencontrée.

La solution « OA accolés »

Cette solution (figure 7) demande le renfort de l'encorbellement existant par des nervures (25 cm de large, 34 cm en pied, 17 cm en extrémité, espacement 1 m), avec des problèmes particuliers au niveau de l'angle aigu. Dans cette zone, l'emploi de TFC est nécessaire en extrados, ce qui pose des problèmes, comme la protection thermique des TFC vis-à-vis des enrobés mis à chaud.

Par ailleurs, la mise en place d'un joint longitudinal apparaît délicate [1]. Les calculs de la flèche différentielle entre les deux ouvrages donnent :

$\Delta H \text{ joint} = 12 \text{ mm}$ (pour 1 camion en cours de rabattement sur la VI),

$\Delta H \text{ joint maxi} = 20 \text{ mm}$.

Ces valeurs n'autorisent pas un joint en revêtement amélioré (qui admet 5 à 8 mm maxi) et le joint à hiatus est à éviter pour la sécurité des 2 roues ; seul le joint pont en bande est envisageable, mais son entretien sur 90 m de long et son éventuel remplacement en milieu d'une voie lente autoroutière sont bien complexes.

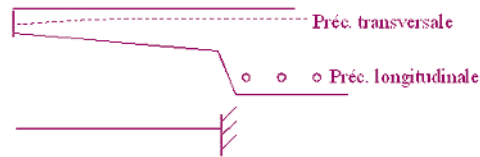
Cette solution n'a pas été retenue.

La solution « OA liaisonnés », retenue

La précontrainte transversale passe dans le haut de la section d'encastrement pour permettre la résistance de l'encorbellement et s'ancre en bord de dalle à mi-épaisseur du hourdis (figure 8, configuration n°1).

Une simple liaison de l'extrémité de l'encorbellement dans l'ouvrage d'élargissement (figure 8, configuration n°2) induirait des efforts de traction en fibre inférieure à l'encastrement de l'encorbellement dans la nervure existante qu'il serait difficile de reprendre.

Configuration n°1



Configuration n°2

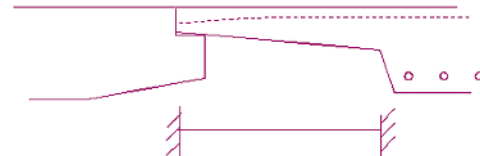


Figure 8 – Source : CETE de l'Est

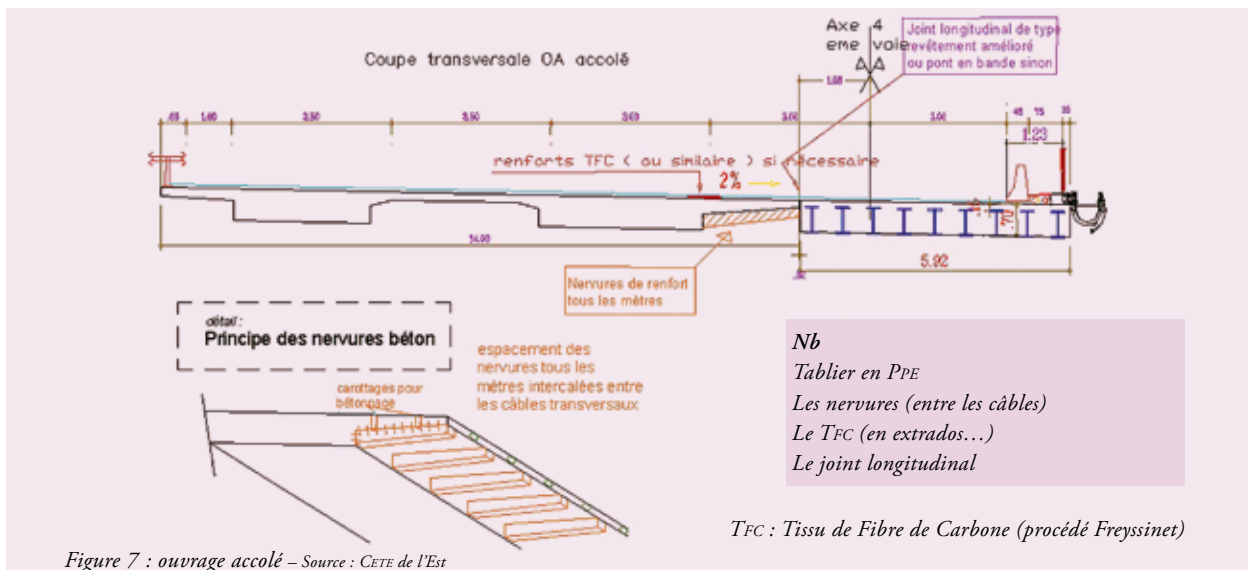


Figure 7 : ouvrage accolé – Source : CETE de l'Est

On en vient à concevoir de lier l'élargissement, un pont à poutrelle enrobée, à l'existant une dalle à deux nervures, grâce à un élément en béton armé qui transforme l'encorbellement en dalle de pleine épaisseur. La zone de jonction devient alors une section pleine :

- la section S1 (figure 9) à l'encastrement de l'encorbellement existant est aidée en sous-face, quand elle fonctionne en moment positif en flexion transversale, par des lanières en fibre de carbone ;
- la section S2 (figure 9) à la jonction entre le PPE et l'ouvrage existant est calculée en section de béton armé avec des U ;
- les sections intermédiaires sont vérifiées en fourchette en tenant compte d'une part de la précontrainte de l'encorbellement existant et d'autre part de la partie rajoutée béton armé.

La partie coulée est couturée en sous-face à l'encorbellement existant par un ensemble d'aciers scellés, et, entre deux têtes d'ancrage de la précontrainte transversale, un redan est prévu pour permettre une bonne couture avec l'ouvrage existant (figure 10).

L'appel d'offres

L'offre retenue a été celle de Demathieu et Bard + Tsv pour un montant de 1 912 607 € TTC avec un délai d'exécution de 10,5 mois (+ 2,5 mois de préparation). La principale contrainte imposée au marché du fait de l'exploitation autoroutière était que l'entreprise ne disposait que de 48 h de coupure de circulation pour le bétonnage-durcissement de l'encorbellement négatif dont 30 h de durcissement imposé avant remise en circulation. La pose des renforts en fibre de carbone ne pouvant ensuite intervenir qu'après un délai de séchage du béton, le trafic a dû être limité sur l'ouvrage (nombre et position des voies) pendant cette période ■

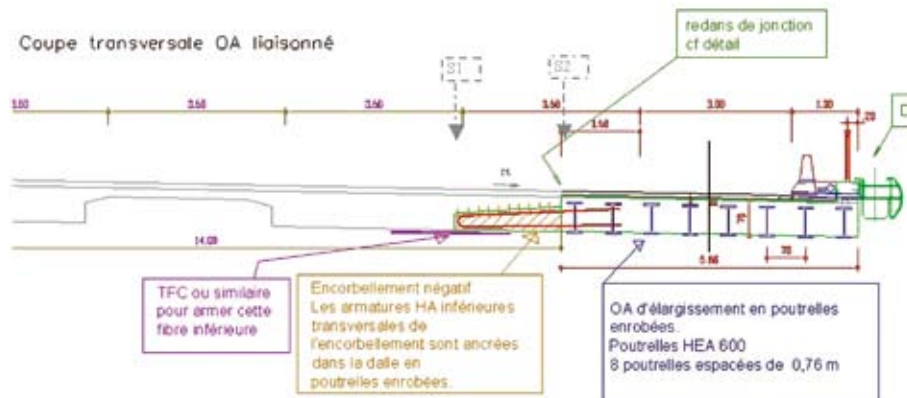


Figure 9 : ouvrage liaisonné – Source : CETE de l'Est

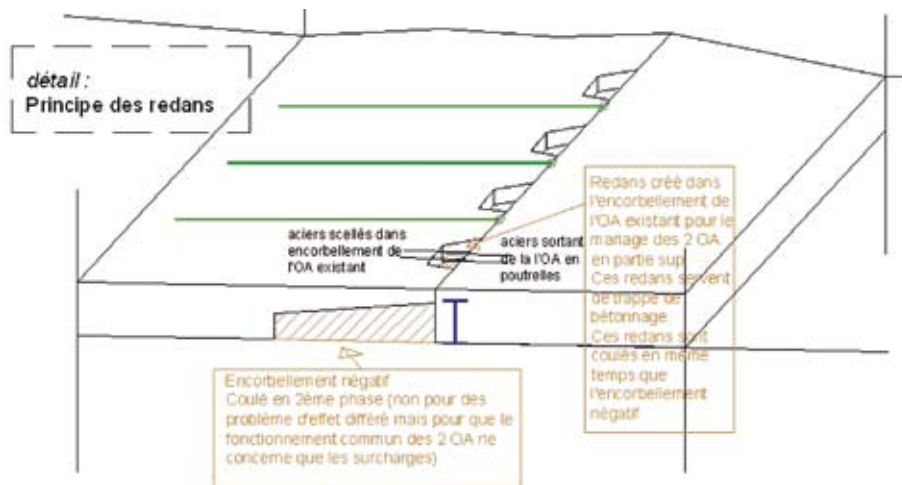


Figure 10 : principe des redans – Source : CETE de l'Est

Les travaux de l'élargissement AU52 en photos



Photo 3 : les scellements en plafond de liaison de l'encorbellement négatif à l'encorbellement positif existant (Avec des zones difficiles d'accès au niveau des sommiers des culées existantes)

Source : Hervé Marneffe (CETE de l'Est)



Photo 5 : l'encorbellement négatif étant coulé « en aveugle », un plot de convenance a été conçu, permettant de valider la formulation du béton spécifique, sa bonne mise en œuvre et sa prise

– Source : Hervé Marneffe (CETE de l'Est)



Photo 4 : le ferrailage de l'encorbellement négatif

Source : Hervé Marneffe (CETE de l'Est)



Photo 6 : pose des lamelles de fibre de carbone. Les conditions météo et hydriques n'étant pas bonnes (travaux effectués en hiver et ouvrage situé au-dessus d'une rivière) l'entreprise a travaillé dans « un tunnel » avec chauffage, tant pour le séchage de la résine que préalablement pour la mise en température du béton, plusieurs heures avant toute pose) – Source : Hervé Marneffe (CETE de l'Est)

Les intervenants

Conception : SIR-OA de Metz et DOA du CETE de l'Est

Entreprises : Groupement Demathieu et Bard ; Tsv (pour le vérinage, les appareils d'appuis, les lanières en fibre de carbone) ; (Sous traitant palplanches, fondation : DURMEYER)

Maître d'œuvre : SIR-OA de Metz (DIR Est)

Bureau d'études, études d'exécution : LUXOA

Contrôle extérieur : CETE de l'Est (DOA, LR Nancy) ; SIR-OA de Metz



Photo 7 : essai d'arrachage de pastilles pour valider l'adhérence des lamelles. Avec des résultats difficiles pour les zones ragrées – Source : Hervé Marneffe (CETE de l'Est)

Technique innovante : traitement des câbles de précontrainte par injection d'un inhibiteur de corrosion

au moyen d'une pompe à ultrason de puissance – Application aux viaducs à travées indépendantes à poutres précontraintes (VIPP) et à d'autres structures précontraintes

Pierre-Marie Dubois, Daniel Michaux

Cet article présente une technique innovante de protection des câbles de précontrainte par injection d'un inhibiteur de corrosion au moyen d'ultrasons de puissance. Cette technique a été appliquée pour la première fois, il y a une bonne dizaine d'années, sur un VIPP situé au Luxembourg, et plus récemment sur quelques ouvrages situés en Belgique. Mes contacts personnels avec des représentants du Ministère Wallon des Transports confirment les faits énoncés dans cet article.

Cette technique mériterait donc d'être testée sur un ouvrage en France présentant des câbles de précontrainte corrodés ; nous serions d'ailleurs intéressés au niveau du LCPC pour suivre cet essai sur ouvrage, dans la mesure où nous souhaitons évaluer l'intérêt présenté par cette technique.

Enfin je souhaite attirer l'attention du lecteur sur les deux points suivants :

- l'efficacité de cette technique d'injection nécessite un espacement des forages de l'ordre de 50 cm ; cette interdistance est relativement contraignante lorsque de grands linéaires de câbles sont à réinjecter, et il est probable que cette interdistance pourrait être adaptée en fonction de la porosité du milieu à injecter.

- l'inhibiteur de corrosion qui se compose de nitrite de calcium n'est pas habituellement utilisé en France ; c'est a priori un bon inhibiteur de corrosion, mais au dosage où il est utilisé, il présente un caractère toxique pour l'homme et dangereux pour l'environnement (confirmé par la fiche de données de sécurité du produit) et il convient d'être vigilant lors de l'application afin notamment d'éviter le relargage de ce produit dans l'environnement. L'entreprise applicatrice connaît ce risque et doit prendre les précautions nécessaires.

Bruno Godart

Contexte et objectif du procédé

Les phénomènes de corrosion induits par la présence de chlorures correspondent à l'un des principaux mécanismes de dégradation des structures précontraintes (photos 1a et 1b). Ces chlorures peuvent avoir différentes origines telles que l'eau de

mer ou les sels de déverglaçage. Au cours du temps, ils migrent depuis la surface du béton jusqu'au niveau des armatures, généralement par les «points faibles» de la structure tels que les joints de dilatation, les défauts de conception ou les fissures [CAL97]. Ces chlorures génèrent alors une corrosion par piqûres induisant des attaques localisées qui peuvent être à l'origine de ruptures fragiles des câbles de précontrainte.



Photos 1a et 1b : exemples de dégradations induites par des phénomènes de corrosion des armatures liés à la présence de chlorures. Les chlorures proviennent de ruptures des tuyaux d'évacuations des avaloirs qui traversaient les poutres de rive, avant leur remplacement par des tuyaux avec évacuation directe – Source : Pierre-Marie Dubois, Daniel Michaux (PMD - ATEAV Systems)

Dans le cas des structures précontraintes par post-tension, les câbles sont localisés dans une gaine remplie d'un coulis de ciment. Des défauts de remplissage de ces gaines peuvent être fréquemment rencontrés. En ces endroits, l'acier n'est pas protégé par l'alcalinité du ciment et des processus de corrosion peuvent apparaître. En cas de contamination par les chlorures, ces vides peuvent aussi accroître les phénomènes de corrosion [MAL96].

Peu de solutions sont aujourd'hui disponibles pour le traitement des structures précontraintes atteintes d'une corrosion par les chlorures. En effet, les techniques de réparation traditionnelles ne peuvent pas être appliquées puisque la précontrainte ne peut pas être totalement enlevée [BER07].

Les méthodes électrochimiques de protection telles que la protection cathodique sont aussi difficilement applicables. En effet, celles-ci nécessitent une continuité électrochimique entre l'anode et la surface de l'acier rendant difficile ou presque impossible leur utilisation pour protéger les câbles des structures en post-tension. Par ailleurs, la diminution du potentiel de l'acier liée à la protection cathodique peut favoriser la formation d'hydrogène et conduire à une fragilisation des aciers. Une limite basse de -900mV/SCE est généralement recommandée pour prévenir ce risque [NBN00]. Toutefois, dans le cas de gaines métalliques, le potentiel des câbles ne peut être mesuré avec précision en raison de possibles contacts entre les aciers et la gaine [BER07]. Le contrôle du traitement électrochimique à partir de la mesure de potentiel est alors très difficile.

Ce constat est à l'origine du développement d'une technique innovante mise au point à partir de recherches concertées menées entre le bureau d'étude PMD, spécialisé dans les problèmes de durabilité des constructions, et la société ATEAV, spécialisée dans

les ultrasons de puissance. Ces travaux, débutés au début des années 1990, visaient à rechercher des techniques permettant d'accroître la durée de vie d'ouvrages existants. Ils ont conduit, à l'issue d'une phase importante d'études et d'essais menée sur différents procédés expérimentaux, à la réalisation d'une pompe spécifique utilisant les ultrasons de puissance. Cette technique a pour objectif d'injecter un inhibiteur de corrosion directement au niveau des armatures au moyen d'une pompe ultrasonore. Le transport au travers du béton d'enrobage est alors évité. Des tests de faisabilité, appliqués in situ, ont permis de valider le fonctionnement du système. Cette nouvelle technique a également fait l'objet d'essais de caractérisation en laboratoire. Ces tests ont été menés au CSTC (Centre Scientifique et Technique de la Construction, Belgique). Ils ont permis de vérifier l'imprégnation du coulis par la solution inhibitrice et ont montré, une diminution significative des processus de corrosion suite à l'application du traitement, dans le cas de concentrations en chlorures totaux inférieures à 1 %. Ces résultats ont été récemment publiés [CAI08], [RAP01], [RAP06]. Enfin, plusieurs brevets concernant ce procédé ont été déposés au niveau européen et américain.

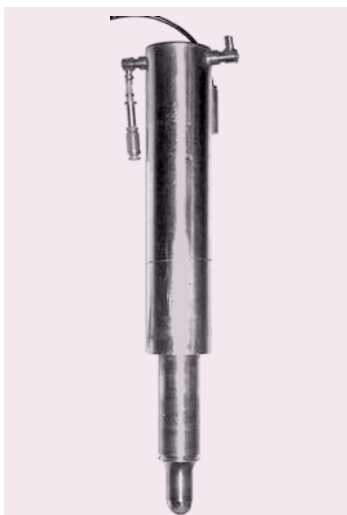


Photo 2 : transducteur ultrasonore piézo-électrique
Source : Pierre-Marie Dubois, Daniel Michaux (PMD - ATEAV Systems)

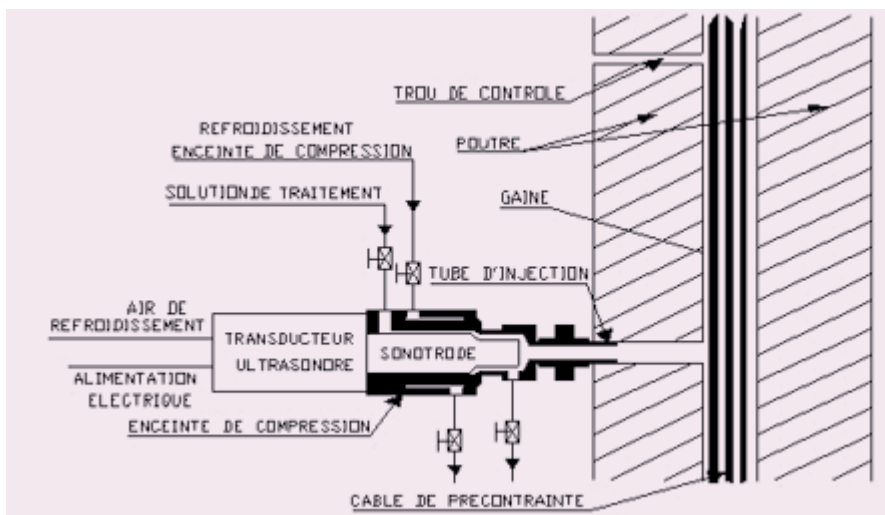


Figure 1 : principe de fonctionnement général de la pompe à ultrasons
Source : Pierre-Marie Dubois, Daniel Michaux (PMD - ATEAV Systems)

Description de la technique

Principe général

Ce procédé d'injection est basé sur l'utilisation d'une pompe alternative de fréquence élevée correspondant à un transducteur ultrasonore de puissance dont la sonotrode est confinée dans une enceinte de compression (photo 2). Elle se dilate et se contracte en créant des surpressions et des dépressions alternatives à la fréquence ultrasonore.

Après perçage de l'enrobage de béton et de la gaine de confinement des câbles de précontrainte, la pompe injecte l'inhibiteur sous basse pression (figure 1). Elle est couplée à l'action des ultrasons qui favorisent la progression de la solution en agissant à différents niveaux :

- Tout d'abord, les cycles rapides de surpression et de dépression poussent le liquide inhibiteur dans les pores et dans les microfissures présentes dans le coulis de remplissage ;

- Les ondes acoustiques, transportées par le liquide, agissent également sur les microfissures en les dilatant et en les rétractant à la fréquence ultrasonore. Ce phénomène favorise aussi la progression de la solution inhibitrice ;
- Ces ondes acoustiques provoquent une mise en vibration générale de très faible amplitude qui favorise la progression du liquide entre la gaine et le coulis de remplissage ;
- Enfin, le liquide est en état de cavitation en phase vapeur, ce qui permet de dégager les entrées des interstices et des micro-fissures, favorisant par-là même, la pénétration de la solution.

Mise en œuvre du procédé

Le nouveau procédé d'injection intervient en phase finale de restauration des structures. Trois principales étapes sont nécessaires à sa mise en œuvre : Le perçage du béton d'enrobage, l'injection de la solution inhibitrice et le comblement des défauts du coulis de ciment.



Photo 3 : béton précontraint en cours de traitement après perçage et mise en place des buses d'injection – Source : Pierre-Marie Dubois, Daniel Michaux (PMD - ATEAV Systems)



Photo 4 : injection de la solution inhibitrice au moyen du transducteur ultrasonore – Source : Pierre-Marie Dubois, Daniel Michaux (PMD - ATEAV Systems)

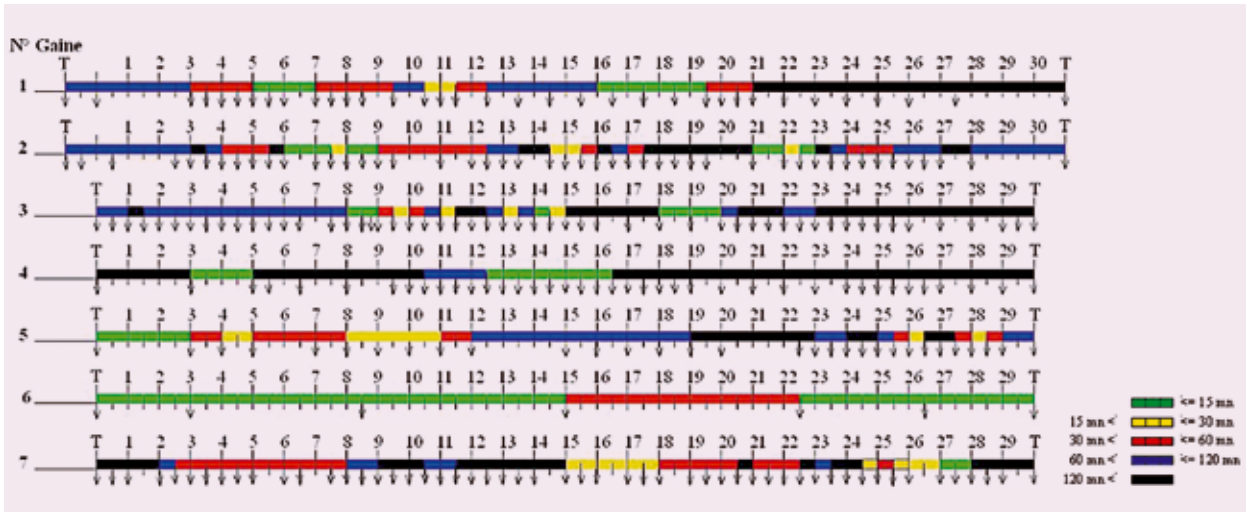


Figure 2 : exemple de cartographie des temps de migration de la solution inhibitrice. Les points d'injection sont indiqués par les flèches – Source : Pierre-Marie Dubois, Daniel Michaux (PMD - ATEAV Systems)

1^{re} étape : perçage de la gaine de précontrainte et mise en place des buses d'injection

Après localisation précise des câbles de précontrainte, des perçages de l'enrobage de béton sont pratiqués jusqu'au niveau des aciers. Ils sont réalisés à espacements réguliers, de l'ordre de 1 m, le long de la gaine de précontrainte (photo 3). Une buse d'injection est placée au niveau de chacun de ces perçages. En complément, des points de contrôle sont également percés jusqu'au niveau des armatures et tout le long de la gaine, à égale distance entre deux points d'injection. Sur toute la longueur de la zone de traitement, points de contrôle et points d'injection se succèdent donc par alternance tous les 50 cm.

2^e étape : injection de l'inhibiteur de corrosion

Dans un deuxième temps, l'inhibiteur de corrosion est injecté au niveau de chaque buse à l'aide d'une pompe spécifique utilisant les ultrasons (photo 4). La progression de la solution inhibitrice à l'intérieur de la gaine est vérifiée au niveau des perçages réalisés de part et d'autre des buses d'injection. Lorsque cette

solution apparaît dans les orifices voisins, l'injection est arrêtée et la pompe est transférée au point suivant. Cette migration de la solution inhibitrice s'accompagne d'un assombrissement du coulis de ciment correspondant à l'humidification du matériau. Des essais sur des tronçons de poutre, ont permis de vérifier que ce phénomène d'assombrissement correspond à la saturation du coulis de ciment par la solution inhibitrice. (photos 5 et 6a, 6b).

Au cours du traitement, le temps de progression de l'inhibiteur d'un perçage à l'autre est également mesuré. Une cartographie des temps de migration est alors obtenue, fournissant des informations sur la qualité de remplissage du coulis. En effet, un temps de migration important correspondra à un coulis compact avec peu de défauts. Au contraire, un temps de migration très court permettra de détecter une zone peu compacte pouvant présenter de nombreux défauts (figure 2).

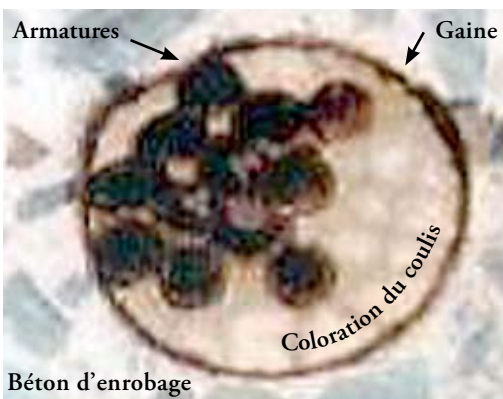


Photo 5 : apparition progressive de l'inhibiteur de corrosion dans tout le coulis – Source : Pierre-Marie Dubois, Daniel Michaux (PMD - ATEAV Systems)



Photos 6a et 6b : observation, sur le terrain, de l'évolution d'aspect du coulis liée à l'imprégnation par la solution inhibitrice – Source : Pierre-Marie Dubois, Daniel Michaux (PMD - ATEAV Systems)



3^e étape : Comblement des défauts du coulis

Après injection de la solution inhibitrice et à partir de la cartographie précédemment obtenue, les buses sont réutilisées pour l'injection d'un micro-coulis spécial à base de ciment. Pour cette étape, une technique classique d'injection est utilisée. Le micro-coulis est un coulis à base de ciment très fluide, sans retrait, qui permet de combler les défauts présents dans la gaine de précontrainte et de rétablir la qualité d'injection du coulis de ciment qui aurait dû exister au moment de la construction. À la fin de cette opération, les buses sont retirées et les perçages sont rebouchés.

Inhibiteur utilisé

Le procédé innovant d'injection utilise une solution inhibitrice de nitrite de calcium dosée à 10 % en nitrites. En dehors du génie civil, les nitrites rencontrent de très nombreuses applications dans les domaines industriels et sont considérés comme des inhibiteurs très efficaces [FIA90]. Dans le domaine des bétons, ils sont utilisés et étudiés depuis trente ans. La première référence mentionnant une application de ces produits comme inhibiteur date des années 50 [ELS03]. Ils sont commercialement disponibles depuis les années 70 [ELS03]. De nombreux travaux ont montré que les nitrites pouvaient limiter de façon importante l'activité de corrosion d'armatures métalliques en présence de réactions de corrosion liées à une contamination par les chlorures. Plusieurs auteurs ont constatés l'efficacité de ces inhibiteurs au moyen de solutions simulant des bétons contaminés par des chlorures [DHO03]. De nombreuses études ont aussi prouvé l'efficacité de ces produits lors d'essais de laboratoire menés sur des éprouvettes de mortier [BER00, MON04, TRE01, BER04]. Ces tests ont démontré la possibilité du nitrite de calcium à retarder le démarrage des processus de corrosion (figure 3) ainsi que sa capacité à limiter les réactions de corrosion une fois que celles-ci ont commencé (figure 4).

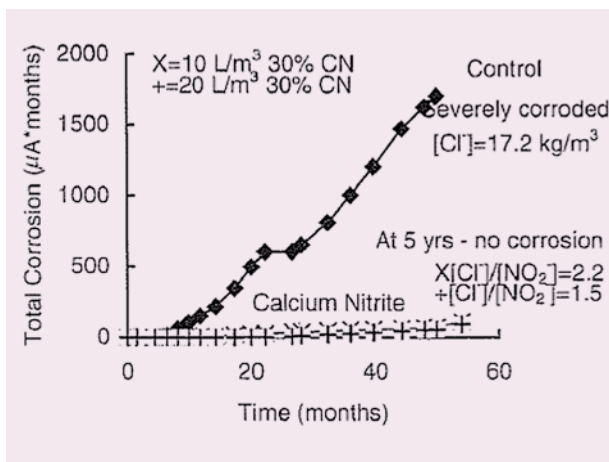


Figure 3 : allongement du temps de protection des aciers en présence de nitrite de calcium – Source : [BER04]

Réalisations pratiques

Précédentes réalisations

À ce jour, plusieurs applications du nouveau procédé d'injection ont été réalisées. Les applications les plus anciennes, réalisées de 1994 à 2004, sont regroupées sur les photos 7. Des inspections régulières de ces ouvrages n'ont pas montré, jusqu'à présent, d'évolution d'aspect pouvant indiquer une reprise de l'activité de corrosion. Par contre, pour certaines de ces structures, des zones restées non traitées ont continué à se détériorer et sont maintenant, pour certaines d'entre elles, devenues irréparables. Ces premières applications montrent que le traitement par nitrite de calcium au moyen du nouveau procédé d'injection a pu prolonger la durée de vie de certaines structures sur une période supérieure à 13 ans.

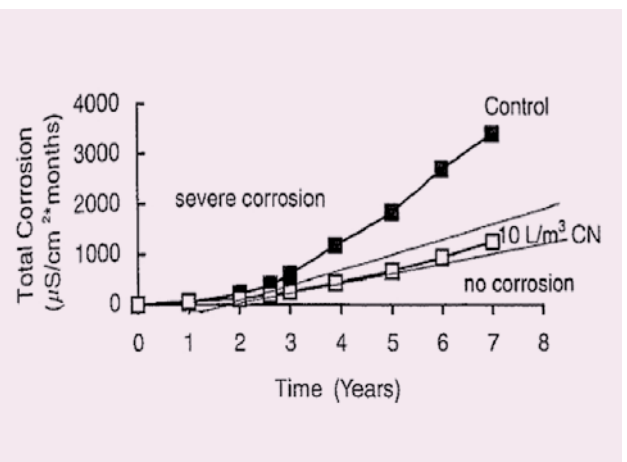




Figure 4 : diminution de la vitesse de corrosion en présence de nitrite de calcium – Source : [BER04]

Ouvrage	Bref historique	Avant application	Aujourd'hui
 <p>Pont routier de Lultzhausen sur le lac d'Esch-sur-Sûre (Grand Duché de Luxembourg) - (Type VIPP)</p>	<p>Construction : vers 1960 Pathologie : corrosion et ruptures de fils et défauts graves d'injection Date de réparation : 1994 Travaux : traitement expérimental d'une travée de quatre poutres (1540m de câbles composés de 12 fils de 7mm)</p>		
 <p>Pont rail de Duferco-Clabecq sur le site sidérurgique à Clabecq (Belgique) (Caisson avec précontrainte externe et interne)</p>	<p>Construction : vers 1960 Pathologie : corrosion et ruptures de fils et défauts graves d'injection Date de réparation : 1999 Travaux : traitement de 900 m de câbles de précontrainte interne composés de 12 fils de 7 mm</p>		
 <p>Viaduc de Landelies (Autoroute de ceinture de Charleroi, Belgique) - (Type VIPP)</p>	<p>Construction : vers 1970 Pathologie : corrosion et ruptures de fils et défauts graves d'injection et fortes pollutions locales des câbles par chlorures Date de réparation : 2004 Travaux : traitement expérimental de deux poutres de 30 m de portée fortement altérées comportant 7 câbles BBRV composés de 31 fils de 7 mm</p>		
 <p>Viaduc de Huccorgne (Autoroute de Wallonie, Belgique) - (Type VIPP)</p>	<p>Construction : vers 1968 Pathologie : corrosion et ruptures de fils et défauts graves d'injection et fortes pollutions locales des câbles par chlorures Date de réparation : 2005 Travaux : traitement expérimental de deux poutres de 30 m fortement altérées comportant 12 câbles composés de 12 fils de 8 mm choisis</p>		

Photos 7 : exemples de structures traitées au moyen du nouveau procédé et état actuel des éléments réparés – Source : Pierre-Marie Dubois, Daniel Michaux (PMD - ATEAV Systems)



Dernières applications

Le pont haubané de Marchienne au Pont

En 2007, les culots inférieurs d'ancrage du pont haubané de Marchienne au Pont (Charleroi) ont fait l'objet d'une réparation au moyen du nouveau procédé d'injection (photos 8 et 9). Ce pont a été construit il y a environ 20 ans. Le diagnostic préalable a révélé des passages d'eau au travers des culots d'ancrage ainsi que des phénomènes de corrosion restant toutefois, encore peu avancés.

Plusieurs étapes ont été mises en œuvre pour le traitement de ces culots d'ancrage :

- L'injection de solution inhibitrice par ultrasons au niveau de la base des culots (photo 10) ainsi que dans les gaines de protection (photo 11) ;
- L'injection d'un micro-coulis par pression, également au niveau de la base des culots et dans les gaines de protection ;
- La mise en place d'une prolongation de la gaine de protection, au-dessus de celle existante (photo 12). Cette prolongation a été remplie d'une cire pétrolière et équipée d'un bouchon en mastic afin de limiter encore les entrées d'eau.

La réhabilitation des haubans comporte ensuite la mise en place de gaines complémentaires en demi coquilles clipsées, disposées sur toute la longueur des haubans y compris les gaines de prolongations des culots d'ancrage. Ces travaux sont toujours en cours.



Photo 9 : zone de traitement au niveau des culots d'ancrage – Source : Pierre-Marie Dubois, Daniel Michaux (PMD - ATEAV Systems)



Photo 10 : buses d'injection de solution inhibitrice à la base des culots – Source : Pierre-Marie Dubois, Daniel Michaux (PMD - ATEAV Systems)



Photo 8 : pont haubané de Marchienne-au-Pont – Source : Pierre-Marie Dubois, Daniel Michaux (PMD - ATEAV Systems)



Photo 11 : buses d'injection de solution le long des gaines de protection – Source : Pierre-Marie Dubois, Daniel Michaux (PMD - ATEAV Systems)

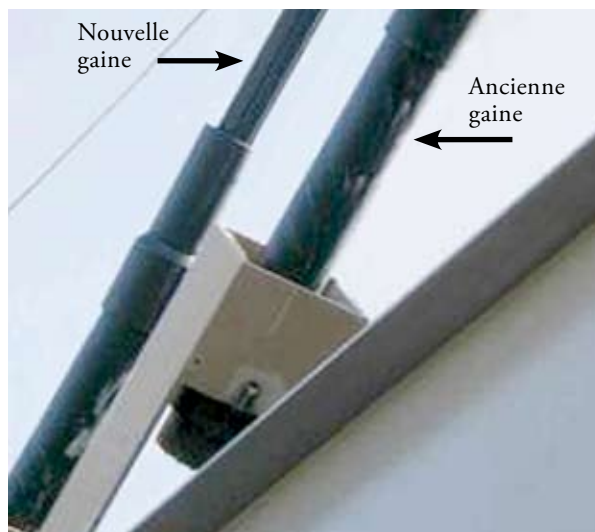


Photo 12 : culots d'ancrage après traitement – Source : Pierre-Marie Dubois, Daniel Michaux (PMD - ATEAV Systems)

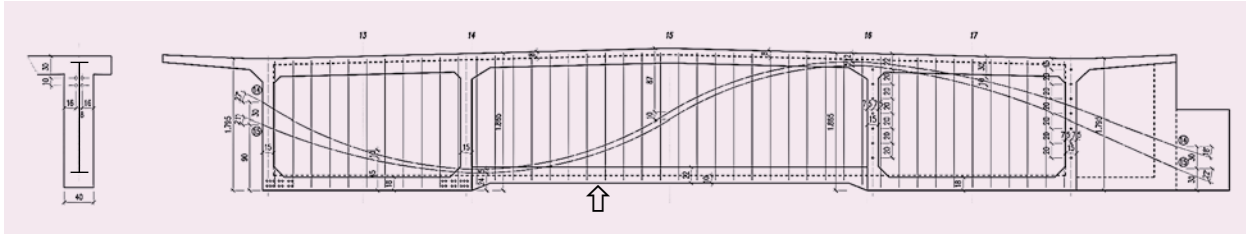


Figure 5 : entretoise mixte béton précontraint/poutre acier avec localisation de la photo 13 – Source : bureau Rw Consult (Luxembourg)

Pont routier de Colmar Berg

Début 2008, le procédé a été appliqué pour le traitement de la corrosion des câbles de précontrainte (12 fils de 7 mm) de deux entretoises mixtes en béton précontraint/poutre acier du pont routier de Colmar Berg construit vers 1960 au Grand Duché de Luxembourg.

Des inspections avaient montré que les câbles de précontrainte situés de part et d'autre de la poutre d'acier, présentaient de nombreux défauts d'injection avec un état de corrosion généralisé qui semblait n'avoir pas encore conduit à des ruptures de fils.

La particularité de ces entretoises consiste dans le fait que la pérennité de la précontrainte est indispensable à la stabilité générale du tablier de l'ouvrage (photos 13 et 14, figure 5).

Viaduc de Courrière

Le nouveau procédé est actuellement en cours d'application pour le traitement de la corrosion des câbles de précontrainte de type BBRV (44 fils de 7 mm) de deux grands viaducs situés sur l'autoroute belge E411, à Courrière. Ces ouvrages ont été construits en 1972 (photo 15).

Un diagnostic préalable a montré la présence de corrosions des câbles sur des zones limitées localisées sous les filets d'eau situés en chaussées sans aucune étanchéité. Ces filets d'eau, situés à l'aplomb d'une paroi de caisson, ont permis l'infiltration progressive d'eaux fortement chargées en chlorures. Ces eaux ont fini par imprégner la partie supérieure de plusieurs câbles de précontrainte et en particulier les têtes d'ancrages noyées dans la dalle du tablier sous les filets d'eau (photo 16).



Photo 13 : vue générale et localisation d'une entretoise traitée – Source : Pierre-Marie Dubois, Daniel Michaux (PMD - ATEAV Systems)



Photo 15 : viaducs de Courrière – Source : Pierre-Marie Dubois, Daniel Michaux (PMD - ATEAV Systems)



Photo 14 : injection d'un tronçon situé entre les caissons – Source : Pierre-Marie Dubois, Daniel Michaux (PMD - ATEAV Systems)



Photo 16 : exemple de zone d'infiltration avec corrosion – Source : Pierre-Marie Dubois, Daniel Michaux (PMD - ATEAV Systems)

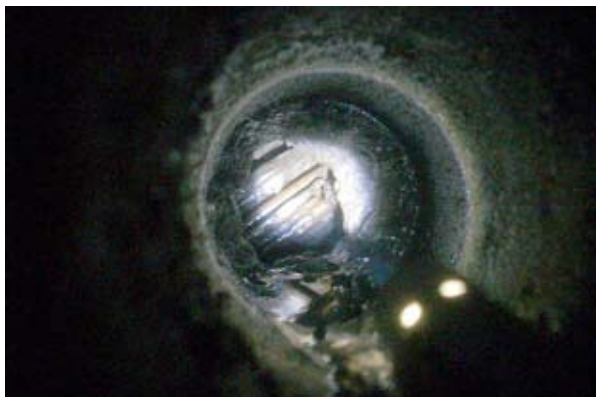


Photo 17 : corrosions avec 2 fils rompus – Source : Pierre-Marie Dubois, Daniel Michaux (PMD - ATEAV Systems)

Le diagnostic a aussi montré que les injections sont dans leur ensemble bien exécutées et que les corrosions commencent seulement à s'installer de manière agressive. Leur progression est inexorable jusqu'à aboutir, à terme, à la mise hors service des ouvrages.

Ce constat a justifié la décision d'appliquer le nouveau procédé de stabilisation de la corrosion des câbles de précontrainte aux seules zones de câbles contaminées par les chlorures.

Pour déterminer les zones à traiter, on prélève, à intervalles réguliers, des échantillons de coulis dont on mesure la pollution en chlorures. Jusqu'à présent, le taux mesuré en chlorures totaux est toujours nettement inférieur à 0,5 % avec un pH supérieur à 12.

Ces investigations ont mis en évidence quelques ruptures de fils (photo 17).

L'estimation du coût du traitement de stabilisation de la corrosion par le nouveau procédé des zones contaminées par les chlorures est de l'ordre de 200 000 €.

À titre de comparaison, le coût estimatif du remplacement des ouvrages serait d'environ 10 000 000 € hors démolition.



Photo 18 : vue du pont routier de Lultzhausen – Source : Pierre-Marie Dubois, Daniel Michaux (PMD - ATEAV Systems)

Les travaux de réhabilitation des câbles de précontrainte s'accompagnent d'un remplacement complet des étanchéités du tablier et des revêtements. Un soin particulier est apporté aux pentes d'écoulement des eaux et à leur évacuation.

Durabilité des ouvrages réparés par le nouveau procédé d'injection - Cas du pont routier de Lultzhausen

Le pont routier de Lultzhausen est localisé au Grand-Duché de Luxembourg (photo 18). En 1994, cette structure a été la première à être traitée par le nouveau procédé d'injection. Elle est l'application qui dispose du plus long recul.

Le traitement a porté sur une travée composée de 4 poutres, représentant 1 540 m de câbles composés de 12 fils de 7 mm.

L'examen initial du pont a montré la présence de fissures longitudinales des parties inférieures des poutres, au niveau des gaines de précontraintes (photo 19). Ces fissures sont probablement issues de processus de corrosion de ces câbles et/ou du gel d'eaux accumulées. La présence de chlorures n'a pas été détectée dans le béton d'enrobage ni dans le coulis des gaines de précontrainte. Des infiltrations d'eau ont été notées dans le tablier du pont. Celles-ci peuvent être à l'origine d'infiltrations dans les poutres qui ont pu accentuer les mécanismes de corrosion. Comme les injections présentent de nombreux défauts allant jusqu'à l'absence d'injection de coulis de ciment, il est possible qu'une des causes de corrosion soit aussi la carbonatation.



Photo 19 : travée à réparer. Vue d'une fissure avant traitement 11/1991 – Source : Pierre-Marie Dubois, Daniel Michaux (PMD - ATEAV Systems)



Photos 20 : évolution des poutres traitées au cours du temps, le micro coulis de ciment a fermé les fissures longitudinales causées par les défauts d'injection et aucune évolution d'aspect n'a été constatée – Source : Pierre-Marie Dubois, Daniel Michaux (PMD - ATEAV Systems)



Photo 21 : perçage de l'enrobage de béton et ouverture de la gaine : aucune évolution du coulis réinjecté en 1994 – Source : Pierre-Marie Dubois, Daniel Michaux (PMD - ATEAV Systems)



Photo 22 : dégagement du coulis et observation des fils de précontrainte : absence de corrosion sur les câbles de précontrainte – Source : Pierre-Marie Dubois, Daniel Michaux (PMD - ATEAV Systems)

Des examens réguliers ont été réalisés sur cette travée afin de suivre la durabilité du traitement. Les photos 20 montrent l'évolution de la surface des poutres réparées 4 ans, 7 ans et 11 ans après traitement. Aucune évolution pouvant suggérer une reprise des activités de corrosion n'a été notée. Par ailleurs en 2005, des examens intrusifs ont été pratiqués en plusieurs endroits. Ils ont révélé une bonne stabilité du coulis de réinjection ainsi que l'absence de corrosion sur les câbles de précontrainte (photos 21 et 22).

Aujourd'hui, soit 13 ans après les travaux de réparation, l'observation des poutres réparées ne montre toujours pas d'évolution pouvant suggérer une possible reprise des processus de corrosion : absence de fissure de surface et d'épaufrure, stabilité des réparations... (photos 23).



Vue générale des poutres réparées



Poutres réparées



Surface des zones réparées

Photos 23 : observation des poutres réparées en septembre 2007 : aucune évolution d'aspect indiquant une possible reprise des activités de corrosion n'a été constatée – Source : Pierre-Marie Dubois, Daniel Michaux (PMD - ATEAV Systems)

Conclusion

Le procédé d'injection utilisant des pompes à ultrasons de puissance est une nouvelle technique de traitement des câbles de précontrainte atteints par des processus de corrosion, induits notamment par la présence de chlorures. Ce procédé représente l'aboutissement d'une phase de recherches et d'études de 10 ans. Son principe consiste essentiellement dans l'injection d'un inhibiteur de corrosion, au moyen d'une pompe basse pression couplée à un système d'ultrasons. La solution inhibitrice à base de nitrite de calcium est injectée directement jusqu'au niveau des armatures, sans transfert par le béton d'enrobage. En outre, le procédé permet également de détecter la présence de défauts d'enrobage dans les gaines de précontrainte. Lors de l'application de cette technique, ces défauts sont alors comblés par l'injection d'un nouveau coulis de remplissage permettant de retrouver l'injection qui aurait dû exister au moment de la construction.

Ce nouveau procédé de traitement a déjà fait l'objet de plusieurs publications et communications scientifiques [CAI08], [MOR01], [GIL07], [DUB05], [DUB07]. Des essais de caractérisation en laboratoire ont aussi été menés. Ils ont permis de vérifier l'imprégnation du coulis par la solution inhibitrice lors de l'injection par la pompe ultrasonore et ont montré une réduction significative des processus de corrosion dans le cas de concentrations en chlorures totaux inférieures à 1% [CAI08], [RAP01], [RAP06]. Il est à noter que les pollutions par des chlorures au cœur des câbles de précontrainte restent le plus souvent très inférieures à ce niveau.

À ce jour, plusieurs ouvrages d'art ont été traités par le nouveau procédé. La plus ancienne application date de 1994. Des inspections régulières de ces sites montrent que cette technique a permis de prolonger la durée de vie de ces structures jusqu'à aujourd'hui, c'est-à-dire sur une période supérieure à 10 ans.

Ce procédé vise à prolonger significativement la durée de vie des ouvrages en limitant leur remplacement. Il s'inscrit dès lors parfaitement dans le concept de développement durable.

Actuellement, il fait l'objet de plusieurs applications en Belgique et au Luxembourg pour des ouvrages pour lesquels il n'existe pas d'alternative de traitement.

En ce qui concerne l'organisation des travaux, il importe de souligner que si la durée des injections d'inhibiteur de corrosion dépend de la qualité des injections au coulis de ciment d'origine, le travail s'opère le plus souvent sous les tabliers ou dans les caissons sans gêne pour le trafic.

D'autres informations peuvent être consultées sur le site « www.pmd-ateav.com » ■

Références bibliographiques

[BER00] L. Bertolini, B. Elsener, P. Pedferri, R. Polder, Corrosion of steel in concrete, prevention-diagnosis - repair, 2000, 392 p.

[BER04] N. S. Berke, M. C. Hicks, Predicting long-term durability of steel reinforced concrete with calcium nitrite corrosion inhibitor, Cement and Concrete Composites, vol. 26, 2004, pp. 191-198.

[BER07] L. Bertolini, A. Raharinaivo, On the corrosion of prestressing steel, COST Action 534, new materials, systems, methods and concepts for durable prestressed steel structures, Final report, Part IV, Electrochemical maintenance and repair methods, 2007.

[CAI08] E. Cailleux, V. Pollet, P. M. Dubois, D. Michaux, A new corrosion treatment for prestressed rebars: the direct injection of a corrosion inhibitor by an ultrasonic pump, Structural fault and repair, 2008.

[CAL97] J. A. Calgaro, R. Lacroix, Maintenance et réparation des ponts, 1997, 666p.

[DHO03] L. Dhouibi, E. Triki, M. Salta, P. Rodrigues, A. Raharinaivo, Studies on corrosion inhibition of steel reinforcement by phosphate and nitrite, Materials and structures, 2003, pp. 530-540.

[DUB05] P. M. Dubois, D. Michaux, Stabilisation de la corrosion de câbles de précontrainte par injection d'inhibiteurs de corrosion par une technologie utilisant les ultrasons, Colloque Le Pont, Toulouse, 2005.

[DUB07] P.M. Dubois, D. Michaux, Procédé de stabilisation de la corrosion des câbles de précontrainte par imprégnation, Forum Béton de l'Innovation, Zemst, 2007.

[ELS03] B. Elsener, R. Cigna, Mixed-in inhibitors, Corrosion of steel in reinforced concrete structures, COST Action 521, Final report, 2003, pp.41-51.

[FIA90] C. Fiaud, Inhibiteurs de corrosion, Techniques de l'ingénieur, Traité des matériaux métalliques, Dossier M160, Papier MB3, 1990, 14 p.

[GIL07] P. Gilles, P. M. Dubois, D. Michaux, Réhabilitation des culots d'ancrage et des haubans d'un pont en Belgique, Colloque Le Pont, Toulouse, 2007.

[MAL96] G. P. Mallet, Repair of concrete bridges, state of the art review, Transport research laboratory, 1996, 194p.

[MON04] P. Montes, T. W. Bremmer, D. H. Lister, Influence of calcium nitrite inhibitor and crack width on corrosion of steel in high performance concrete subjected to a simulated marine environment, *Cement and Concrete Composites*, vol. 26, 2004, pp. 243-253.

[MOR1] Cl. Mortier, Présentation d'un nouveau procédé innovant pour la réhabilitation de la précontrainte du pont Duferco-Clabecq sur le canal Bruxelles Charleroi, IABSE-fib Workshop, Gent, 2001

[NBN00] NBN EN 12696, Cathodic protection of steel in concrete, 2000, 42p.

[RAP01] Rapport d'essais Cstc d'avril 2001, n° DE61079/1bis.

[RAP06] Rapport d'essais Cstc de novembre 2006, n° DE61079/3.

[TRE01] S. M. Trépanier, B. B. Hope, C. M. Hansson, Corrosion inhibitors in concrete Part III. Effect on time to chloride-induced corrosion initiation and subsequent corrosion rates of steel in mortar, *Cement and Concrete Research*, vol. 31, 2001, pp. 713-718.



La liaison Est-Ouest d'Avignon

Ou comment un ouvrage routier peut contribuer à valoriser l'environnement et améliorer la biodiversité

Robert Bonnefoy, David Ranfaing, Jacques Resplendino, Joël Pou, Frédérique Gerbeaud-Maulin

Introduction

La liaison Est-Ouest (LEO) est une infrastructure de type voie rapide urbaine d'environ 30 km de longueur qui relie d'est en ouest l'autoroute A9 à l'autoroute A7 en passant au sud d'Avignon et dans le nord des bouches du Rhône.

Cette infrastructure a pour objectifs d'améliorer l'accès et faciliter le transit au niveau d'Avignon, de relier les pôles urbains du bassin de vie, de renforcer l'accès aux équipements régionaux (hôpital, gare TGV...) et de réduire la saturation automobile de l'agglomération afin de promouvoir une politique de revalorisation urbaine.

Le tracé central de 15,5 km comporte un franchissement du Rhône et deux franchissements de la Durance. Il traverse au niveau de la Durance une zone d'importance pour la conservation des oiseaux intégrée au réseau Natura 2000 en avril 2006.

Compte tenu de la sensibilité du site, l'ensemble du projet a intégré des contraintes environnementales fortes dans un souci constant de respecter voire d'anticiper les exigences réglementaires. L'objet de cet article est de décrire l'ensemble des mesures écologiques mises en place notamment au niveau du franchissement aval de la Durance, mesures qui ont permis de constater un réel impact positif sur la biodiversité.

Dans le contexte actuel de prise de conscience de l'importance des problématiques du développement durable dans la logique du Grenelle de l'environnement, ce projet montre comment une infrastructure routière qui répond aux enjeux économiques et sociaux de déplacements d'un territoire peut également avoir un impact positif sur les milieux naturels.

Présentation générale de l'opération

La LEO forme un barreau est ouest d'environ 30 km entre l'autoroute A9 (depuis Remoulins ou Roquemaure dans le Gard) et l'autoroute A7 (au niveau d'Avignon Sud / Bonpas).

Le tronçon central du projet d'environ 15 km est une infrastructure de type A80 de l'ICTAVRU à 2 fois 2 voies séparées par une bordure centrale. Il relie la commune des Angles dans le département du Gard (carrefour RN100/RN580) à la confluence de Courtine au sud d'Avignon (gare TGV) puis au nord du département des Bouches du Rhône (la RN570 sur les communes de Barbentane et Rognonas) et enfin à la RN7 au sud/est d'Avignon (carrefour de l'Amandier).

L'avant projet sommaire (APS) du tronçon central LEO a été approuvé le 8 novembre 2001. Après une enquête au premier trimestre 2002, le projet a été déclaré d'utilité publique le 17 octobre 2003. Une enquête au titre de la « loi sur l'eau » a été menée au premier semestre 2003, qui a permis d'obtenir une autorisation par arrêté inter-préfectoral le 8 août 2003.

Ce tronçon a été découpé en trois tranches fonctionnelles :

- la tranche 1 comporte un franchissement sur la Durance dit « Viaduc aval » et relie Courtine Nord sur la commune d'Avignon (Vaucluse) au Diffuseur de Rognonas dans les Bouches du Rhône puis intègre la déviation de Rognonas entre le mas du Temple et l'Escapade,
- la tranche 2 qui comporte un autre ouvrage sur la Durance dit « viaduc amont » va de l'échangeur de Rognonas à l'Amandier sur la RN7,
- la tranche 3 comporte un franchissement du Rhône et relie Courtine Nord aux Angles dans le département du Gard.

L'ensemble des trois tranches est estimé à 367 millions d'euros en valeur 2004 dont 122 millions ont été inscrits au contrat de plan État-Région Provence Alpes Côte d'azur, avec une participation des départements des Bouches du Rhône et du Vaucluse.

En cohérence avec ces financements, la première tranche est en cours de réalisation sous la maîtrise d'ouvrage de la Direction Régionale de l'Équipement PACA (DRE PACA) pour une mise en service envisagée fin 2009 - début 2010. La maîtrise d'œuvre de l'opération est assurée par la Direction Interdépartementale des Routes Méditerranée (DIR Méditerranée).

Cette tranche comporte :

- 5 échangeurs (Courtine Nord, Gare Tgv, Rognonas, Mas du Temple, Escapade),
- un viaduc de franchissement de la Durance de 740 mètres longueur,
- deux ponts rails de franchissement de la voie ferrée Paris Lyon Marseille (PLM),
- trois ouvrages d'art courants : un PSIDP sous l'échangeur de la gare TGV, un portique double sur l'échangeur de Rognonas, un PSIDA de franchissement de la voie ferrée RDT13.

Les matériaux d'apport comportent :

- 650 000 m³ de remblais,
- 85 000 m³ de couche de forme,
- 41 000 m³ de matériaux pour merlons, digues et modelages paysagers,
- 2000 m³ d'enrochements,
- 5 600 t d'enrobés bitumineux.

En outre la plateforme nécessite la réalisation d'un système d'assainissement comportant :

- 2 600 m de collecteurs,
- 7 500 m de fossés,
- 4 000 m de bordures,
- 6 bassins de stockage et traitement des eaux pluviales,
- 5 stations de pompage de refoulement des eaux des bassins vers le milieu naturel.

L'ensemble du tracé de la LEO est susceptible d'être inondé en cas de rupture des digues de protection contre les crues de la Durance. Aussi, les fondations ont été intégralement réalisées avec des matériaux insensibles à l'eau. Par ailleurs, la LEO a été conçue de manière à assurer une transparence hydraulique (y compris en section courante). Aussi, elle n'est pas en remblai sur tout le linéaire, mais la section en rive gauche de la Durance est pour une grande partie à profil rasant.

En rive gauche de la Durance, le secteur à vocation agricole de type maraîchage, est largement irrigué en

eau par un système complexe de canaux et de fossés. Ces ouvrages interceptés par le tracé, ont été rétablis. En outre l'ensemble des ouvrages de régulation des écoulements naturels superficiels sur ce secteur très plats a été intégralement rétabli avec compensation hydraulique des dépressions naturelles de stockage tampons des eaux pluviales.

Concernant les eaux souterraines, plusieurs aquifères situées sous le tracé ont nécessité d'étancher la plate forme, de collecter et traiter l'ensemble des eaux pluviales avant le rejet dans le milieu naturel. Ces rejets se font après écrêtement pour l'essentiel dans la Durance (puis dans le contre canal du Rhône pour la tranche 3). En outre, l'arrêté « loi sur l'eau » prescrit en phase exploitation un suivi de la qualité des eaux souterraines.

Présentation générale du pont aval sur la Durance

Il s'agit d'un ouvrage mixte de type bi-poutres à tablier unique de grande largeur (jusqu'à 28 m).

D'une longueur de 740 m, il comporte 10 travées avec des portées principales en Durance de l'ordre de 88 m (36 m, 60 m, 64 m, 80 m, 84 m, 4 x 88 m, 64 m).

Dans sa partie principale en Durance sur une longueur de 500 m, le tracé en plan est rectiligne (figure 1) et l'ouvrage de largeur constante. Le tracé se prolonge en courbe en rive droite avec une variation de la largeur du tablier qui passe de 21,50 m à 28 m.

La structure entièrement dimensionnée aux Eurocodes a été conçue par le Sétra et le cabinet d'architecture Lavigne, avec l'assistance du CETE Méditerranée et sous le pilotage de la DDE 84 puis de la DIR Méditerranée.

D'un montant de 25 millions d'euros, le marché de construction a été attribué au groupement d'entreprise: DODIN SNC, CAMPENON BERNARD Méditerranée, CIMOLAI ARMANDO COSTRUZIONI.



Figure 1 : vue générale de l'ouvrage en Durance – Source : CETE Méditerranée

Appuis

Les fondations superficielles ont été réalisées à l'intérieur de batardeaux circulaires de 9 m de diamètres pour les six appuis en rivière et de batardeaux rectangulaires pour les trois appuis à terre;

En rivière les palplanches de type Larssen L IV S d'une longueur de 20 m sont ancrées dans les marnes compactes situées à une profondeur de 17 m par rapport au terrain naturel.

A l'intérieur du batardeau un bouchon de gros béton de 4,5 m d'épaisseur a été coulé pour reprendre les poussées hydrostatiques et assurer l'étanchéité nécessaire pour la réalisation de la semelle et du fût.

Les 6 piles en rivière sont composées d'un fût elliptique surmonté d'un large chevêtre précontraint transversalement par des câbles de type 19T15 (figure 2).

Les 3 piles à terre sont composées d'une ligne de 2 fûts circulaires d'entraxe variable sur lesquels viennent s'appuyer les parties métalliques (figure 3).

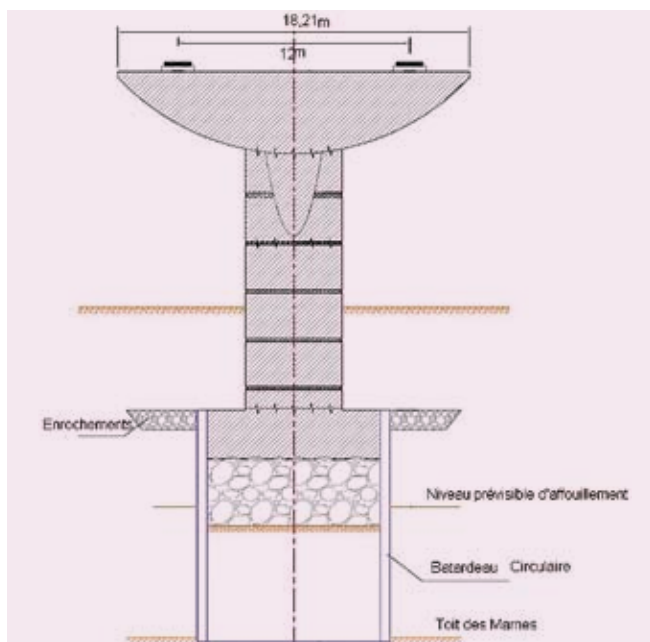


Figure 2 : conception générale des piles en rivière – Source : CETE Méditerranée

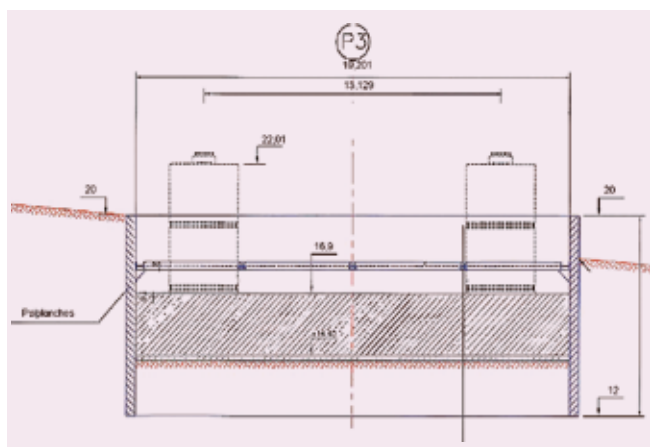


Figure 3 : conception générale des piles à terre – Source : CETE Méditerranée



Tablier

La charpente métallique du tablier est composée de 2 poutres de hauteur constante égale à 3,5 m (figure 4), reliées tous les 4 m par des pièces de pont de 1,2 m de hauteur entre appui, 2 m sur appui, complétées par des consoles sous les encorbellements.

Elle est réalisée en acier thermomécanique S 355 et S 460 pour les poutres principales à proximité des appuis intermédiaires.

Les semelles inférieures ont une largeur constante égale à 1,50 m, et une épaisseur variable jusqu'à 120 mm sur appuis.

La variation de la largeur de l'ouvrage en rive droite (21,5 m à 28 m) est réalisée par une augmentation de la distance transversale entre les poutres principales, avec conservation de la largeur des encorbellements.

La dalle participante est en béton armé de 24 cm d'épaisseur moyenne.

De façon générale, l'utilisation des Eurocodes a conduit à un renforcement des entretoises de part et d'autre des piles (stabilité au déversement de la semelle comprimée) et à une augmentation de la largeur des semelles.

Les éléments de charpente métallique sont fabriqués en usine en Italie, livrés puis assemblés sur site.

La partie droite de la charpente est mise en œuvre par lançage de tronçons d'environ 70 m depuis une plateforme installée en rive gauche de la Durance. La partie courbe de l'ouvrage en rive droite est posée à la grue sur appuis et palées provisoires.

La dalle de 24 cm d'épaisseur est coulée en place sur toute la partie droite à l'aide d'un équipage mobile

muni d'un coffrage. Sur la partie courbe des demi-dalles sont pré-fabriquées pour les longueurs variables entre poutres : de forme trapézoïdales, les demi-dalles ont toutes des dimensions différentes.

Présentation générale des études environnementales

La LEO et le classement du site en zone de protection spéciale

La section centrale de la LEO traverse au niveau de la Durance une zone d'importance pour la conservation des oiseaux (ZICO PAC 17). Cette zone englobe des espaces d'intérêt ornithologique dont certains étaient susceptibles, en 2000-2001 lors de l'élaboration du dossier d'Aps, de faire l'objet d'une procédure de désignation en zone de protection spéciale (Zps) et d'être intégrés au réseau Natura 2000.

Afin de garantir le projet d'une sécurité juridique au plan communautaire vis à vis des ZICO, le maître d'ouvrage a décidé lors des études d'avant-projet de prévoir par anticipation une évaluation des incidences du programme prévue par l'article 6 paragraphes 3 et 4 de la directive européenne 92/43/CEE. Cette précaution a été opportune puisque la Zps a été constituée sur ce secteur par arrêté du 27 août 2003.

Les impacts potentiels concernaient essentiellement le viaduc aval de la Durance qui traverse un secteur en Zps de 64 ha, occupé par des roselières susceptibles d'accueillir des espèces remarquables telles que le Blongio nain.

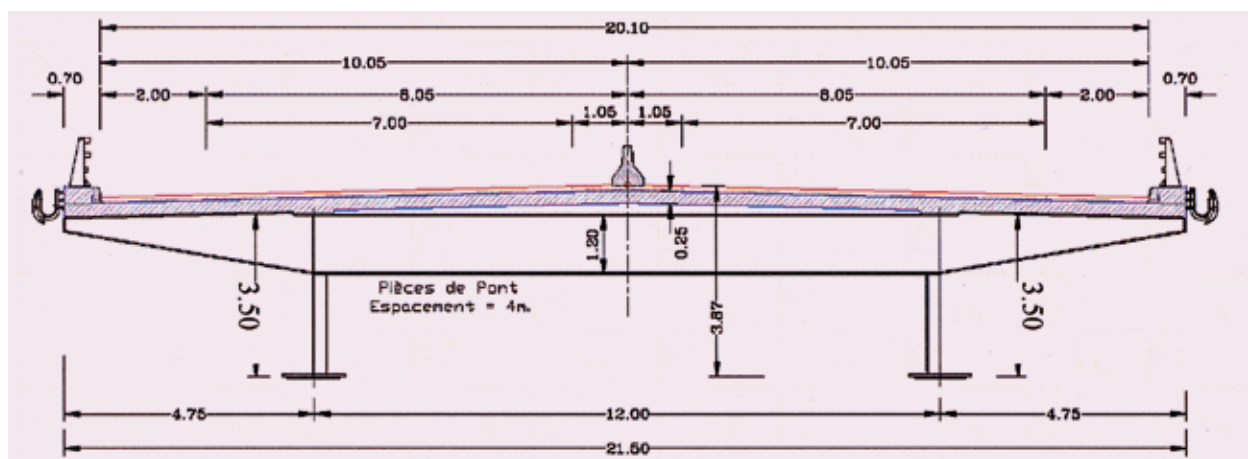


Figure 4 : coupe transversale courante du tablier – Source : CETE Méditerranée

Étude d'incidences d'août 2001

Conformément à la réglementation européenne, une étude d'incidence intitulée « **Évaluation des incidences du programme sur la ZICO de la basse Durance, susceptible d'intégrer le réseau Natura 2000** » a été réalisée en 2001 et annexée au dossier d'enquête d'utilité publique en 2002.

L'état initial des habitats et des espèces a pu être établi en s'appuyant sur des observations faites sur le terrain ainsi que sur les rapports et cartographies d'ornithologues, notamment ceux du centre de recherches ornithologiques de Provence.

L'étude a montré que les « roselières de Courtine » ne présentaient plus les conditions propices pour l'établissement des grands hérons et rapaces palustres en raison de l'enlèvement du secteur, source d'appauvrissement de l'habitat. Les espèces protégées citées dans plusieurs rapports (Lusciniole à moustache, Blongios nain) n'ont pas été retrouvées lors des campagnes systématiques d'observation menées en 2001.

L'étude a conclu à la non existence d'incidence significative sur les habitats et les espèces remarquables de la ZICO PAC 17, moyennant la mise en œuvre de mesures visant à maîtriser les risques en phase de construction des ouvrages de franchissement de la Durance ainsi que des mesures d'insertion, telles que :

- des mesures temporaires durant le chantier, consistant essentiellement à isoler certains îlots de rivière servant de nichoirs et/ou reposoir, et à maîtriser des pollutions ;
- la réduction des impacts par le balisage des lignes hautes tension en traversée de Durance et par le suivi ornithologique durant le chantier et 4 ans après ;
- des mesures d'accompagnement pour la restauration de milieux tels que :
 - la restauration d'une lône en rive gauche de Courtine,
 - la suppression et le nettoyage d'un chemin dans le lit de la rivière,
 - l'aménagement d'un seuil de délimonage pour faciliter le transit des limons.

Lors de la procédure d'utilité publique (enquête en 2002), le maître d'ouvrage routier s'est engagé à réaliser ces mesures lors des travaux de la LEO.

Certaines d'entre elles ont été réalisées en 2004 lors de travaux préalables à la construction du viaduc aval, et se poursuivent en phase construction de l'ouvrage.

Le choix par le maître d'ouvrage routier de réaliser directement à 2 x 2 voies le viaduc aval sur la Durance (sans phasage transversal comme initialement prévu) contribue également à minimiser les interventions et donc les impacts dus au chantier.

Compléments d'étude avifaunistique / juin - juillet 2002

Conformément à la demande de suivi continu de l'état de l'écosystème, l'étude d'incidence a été reprise en 2002 pour actualiser les inventaires. Les observations faites ont largement corroborées celles réalisées en 2001. En particulier, une forte détérioration des roselières liée à l'enlèvement a été constatée, avec pour conséquence une baisse de la richesse avifaunistique par rapport aux observations plus anciennes des ornithologues.

En 2003, lors de l'enquête au titre du code de l'environnement, volet eau et milieux aquatiques, l'évaluation des incidences du projet réalisée en 2001 ainsi que les compléments d'inventaires réalisés en 2002 ont été annexés au dossier de demande d'autorisation.

La procédure « loi sur l'eau » a conduit à définir des mesures correctrices complémentaires, en particulier au regard des impacts hydrauliques du projet. Pour le secteur concerné (la Durance), il a été demandé d'arasement des bancs de limons sur 500 m de part et d'autre du viaduc aval (environ 100 000 m³) et en aval immédiat du pont de Rognonas (30 000 m³) puis de participer financièrement à l'abaissement du seuil CNR (en aval du viaduc aval) de l'ordre de 1,50 m afin de corriger durablement ce phénomène d'enlèvement récurrent du secteur. Il a également été prévu de participer financièrement à la réalisation d'une passe à poissons au seuil 68 (en amont du viaduc amont).

Étude de novembre 2003

Lors de l'instruction du dossier « loi sur l'eau », la DIREN Provence Alpes Côte d'Azur a fait observer que les études d'incidence de 2001 et 2002 ne prenaient pas en compte les nouvelles mesures correctrices hydrauliques (arasement des dépôts de limon de Courtine), ni les nouvelles propositions de sites d'intérêt communautaire (pSIC) telles que la pSIC FR9311589 « La basse Durance et ses ripisylves, de Cadarache à la confluence avec le Rhône » ainsi que la pSIC « Le Rhône, de Donzère-Mondragon à la Méditerranée », susceptibles toutes deux d'intégrer le réseau Natura 2000 (Zsc).

Une nouvelle étude d'incidence, intitulée « **Enquêtes relatives à l'incidence du projet sur les pSIC – Compléments d'étude** » a donc été réalisée en 2003 afin de compléter les précédentes évaluations du projet sur la ZICO et la Zps. Plus globalement, l'étude a donc porté aussi sur les autres sites éligibles au réseau Natura 2000 partiellement soumis à consultation (PR093 et PR094) et potentiellement impactés par le projet LEO.

Cette nouvelle étude d'incidence a conclu que le projet LEO n'était pas de nature à porter atteinte aux espèces pour lesquelles la Zps a été désignée, à condition que

les mesures visant à maîtriser les risques en phase de construction des ouvrages soient mises en œuvre.

De plus, l'étude a conclu que sous réserve d'un phasage des travaux compatibles avec la biologie des espèces présentes, l'arasement des terrasses de Courtine, n'entraînerait aucun dommage sur les habitats naturels ou les espèces d'intérêt communautaire. Au contraire, ces aménagements constitueraient l'opportunité d'une amélioration de qualité écologique et biologique du site car ils conduiraient à remettre en eau des espaces qui avaient perdu leur spécificité de zone humide (du fait de l'exhaussement récurrent des bancs de limons).

Études environnementales 2004 - 2005

De nouvelles études d'incidence, intitulées « **Mise à jour du dossier d'incidences sur les sites Natura 2000 de la Durance** » ont été entreprises au titre de l'année 2004 et 2005 afin de compléter les inventaires faunistiques et floristiques et mettre à jour le dossier d'incidences du projet routier. En particulier, les inventaires ont été élargis aux chiroptères, au castor d'Europe, aux coléoptères et odonates en ce qui concerne l'entomofaune ainsi qu'aux orchidées pour les stations botaniques remarquables.

Les inventaires sur la faune et l'avifaune menés en juillet 2004, puis ceux menés en 2005, ont permis d'établir les états initiaux avant le démarrage des travaux préparatoires et de construction de l'OANC Durance aval, conformément à l'engagement pris par le maître d'ouvrage routier de réaliser un suivi environnemental tout au long des travaux.

La Leo et les nouvelles désignations de sites

Initialement proposés à la Commission européenne sous la forme de deux sites distincts et discontinus :

pSic FR931589 « la basse Durance et ses ripisylves, de Cadarache à la confluence avec le Rhône »

pSic FR9301543 « la Durance de Sisteron à Cadarache », ces sites ont été fusionnés et étendus à l'ensemble de l'axe durancien, de Serre-Ponçon jusqu'au Rhône. La concertation sur un périmètre étendu à l'ensemble de la basse et moyenne Durance a été conduite en fin d'année 2005. La nouvelle proposition de site d'importance communautaire (pSic) FR9301589 « La Durance » a été transmise à la CE le 20 avril 2006.

De plus, la circulaire du 23 novembre 2004 relative à l'achèvement du réseau Natura 2000 et à la relance du processus de désignation des sites a identifié la nécessité d'étendre la Zps à l'ensemble de la moyenne

et basse Durance, et d'assurer la continuité de l'axe durancien entre Serre-Ponçon et la confluence avec le Rhône. La concertation sur ce périmètre étendu a été conduite en fin d'année 2005 et une nouvelle Zps a été désignée sur l'ensemble de la vallée, entre Serre-Ponçon et la confluence avec le Rhône (arrêté ministériel du 24 avril 2006 portant désignation du site Natura 2000 La Durance).

Les études de 2004 et 2005 ont, par anticipation, porté sur ces nouveaux périmètres.

Les travaux préparatoires en Durance (2004 - 2005)

Préalablement à la construction du pont sur la Durance aval et pour prendre en compte notamment les exigences de l'arrêté inter-préfectoral « loi sur l'eau » du 8 août 2003, des travaux préparatoires en Durance ont été réalisés d'août à octobre 2004.

Ces travaux ont consisté :

- en l'arasement des terrasses en courtine,
- en l'arasement des atterrissement de matériaux entre le pont de la RN570 et le pont ferroviaire de la PLM,
- à la création d'une lône (bras de rivière) de 9 m² de section en rive gauche de la Durance,
- au comblement du contre canal en rive droite de la Durance,
- au déplacement de la ligne électrique HT de 63 KV franchissant la Durance, équipée d'un système anti-collision pour les oiseaux.

La préparation du dossier de travaux a fait l'objet d'une large communication auprès des services de police de l'eau concernés, ainsi que des organismes tels que la ligue protectrice des oiseaux, le conseil supérieur de la pêche, l'office national de la chasse et de la faune sauvage.

En concertation avec ces partenaires, des mesures de précaution ont été prises lors du chantier telles que l'engagement de l'entreprise sur un plan d'assurance environnemental, la mise en place d'un contrôle environnemental spécifique du maître d'ouvrage, le démarrage des travaux après la période de nidification, le recensement préalable des nids éventuels, la restauration écologique du site, le rapatriement des véhicules en fin de journée pour éviter les éventuelles pollutions, le contrôle des matières en suspension, la protection des franges des îlots en contact avec le milieu aquatique...

L'arasement des terrasses

Les travaux ont consisté à araser les atterrissements de matériaux pour respecter un niveau de 16,5 m NGF en Courtine, 17,5 m NGF entre le pont de la RN570 et le pont de PLM.

Les matériaux extraits ont été déposés sur le site dans des zones spécifiques prévues à cet effet :

- 75 000 m³ en bordure rive gauche du Rhône à l'aval des viaducs TGV,
- 15 000 m³ dans l'emprise du projet LEO en remblai de préchargement derrière la future culée rive droite du viaduc aval puis utilisation en modelage paysager le long de la LEO,
- 30 000 m³ dans l'emprise du projet LEO en remblai de pré-chargement derrière la future culée rive gauche du viaduc aval puis utilisation pour le merlon contre les inondations et anti-bruit parallèlement à la voie LEO entre la culée du viaduc aval et la voie PLM.

Une procédure ICPE a été réalisée pour le stockage en bordure du Rhône (rubrique 2517), comportant notamment une analyse chimique des sédiments, et un point zéro qualitatif de la nappe sur la zone de stockage suivie semestriellement.

Réalisation d'une lône de 9 m² de section en rive gauche de la Durance

Cet ouvrage a été imposé par l'article 10 de l'arrêté « loi sur l'eau » au titre de mesure compensatoire.

Le tracé a été défini en concertation avec les acteurs locaux intéressés notamment avec le service de police de l'eau et le Conseil Supérieur de la Pêche qui a demandé d'intégrer des zones de frayères.

Le lône a été réalisé en même temps que l'arasement des roselières pour limiter les accès en Durance.

Comblement du contre-canal

Le comblement du contre-canal en droite de la Durance a été réalisé au titre des travaux préparatoires afin de :

- rétablir la route parallèle à la digue de protection contre les crues,
- renforcer le pied de digue au droit de l'implantation d'un appui du viaduc aval,
- faciliter la réalisation des travaux du viaduc aval.

Le comblement a été réalisé sur 80 m de longueur suivant le schéma de principe décrit sur la figure 5.

Suivi en cours d'exécution

L'arrêté de la loi sur l'eau du 8 août 2003 imposait :

- un suivi du dosage des MES et du NH₄, avec des seuils limites à ne pas dépasser,
- une exécution des travaux en dehors de la période de remontée des aloses et de la nidification des oiseaux (15 avril au 01 juillet),
- d'implanter les installations de chantier en dehors du lit moyen endigué (lit mineur),
- de réaliser des ouvrages de franchissement des chenaux constitués de buses afin d'éviter la pollution de la Durance et de permettre l'écoulement des eaux et la circulation des poissons.

Le Plan d'Assurance Environnement (PAE) de l'entreprise.

Pour garantir le respect des prescriptions en matière d'environnement, l'entreprise a réalisé et le maître d'œuvre a validé un Plan d'Assurance Environnement avant le démarrage effectif des travaux.

Les installations de chantier sont réalisées sur un terrain de 7 500 m² en dehors du lit mineur (terrain appartenant à la CNR en rive droite de la Durance entre la digue CNR et la ligne TGV).

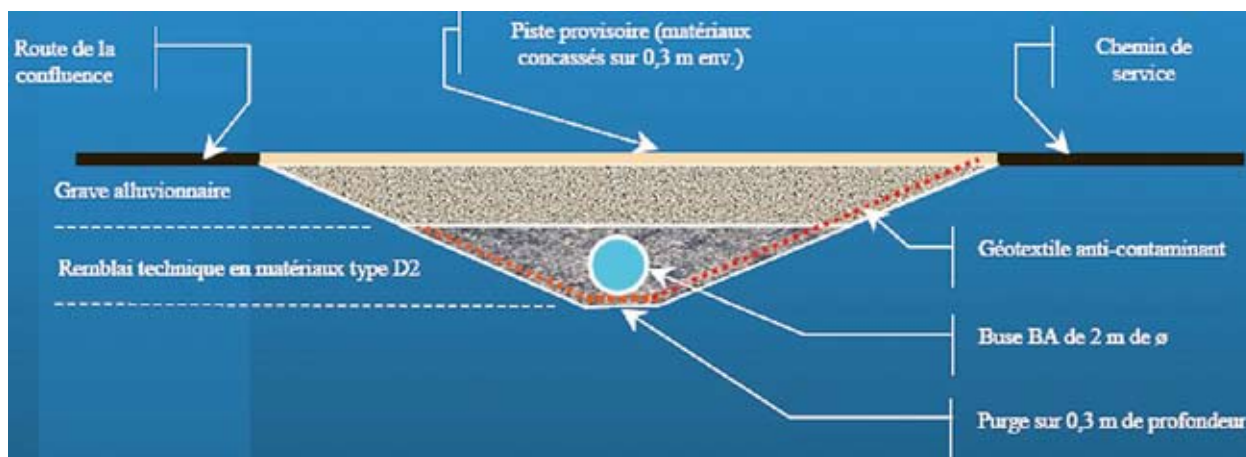


Figure 5 : conception générale du comblement du contre-canal – Source : CETE Méditerranée

Les installations permettent de garantir aucun rejet d'effluent en milieu naturel.

Le stationnement d'engins et véhicules est assurée sur l'aire des installations spécialement aménagée d'une terre plein étanche (polyane) recouvert d'une couche de grave.

Les piste d'accès sont balisées, la vitesse limitée, les chemins éventuellement arrosés pour éviter les dépôts de poussières par vent fort.

Les accès au chantier et les installations sont clôturés et interdits au public.

Le stockage des matériaux et réalisé exclusivement sur l'aire des installations de chantier ce qui impose un suivi des mouvements des produits et matériaux.

Aucun rejet d'eau direct n'est réalisé en milieu naturel : un bassin de rétention des eaux pluviales de 400 m³ mis en place sur l'aire d'installation de chantier permet la décantation et la dépollution avant rejet régulé à 4 l/s en Durance.

Le PAE prévoit le suivi et le respect des paramètres NH₄, Co, MES et hydrocarbures imposées par l'arrêté de « la loi sur l'eau ».

Respect des mesures environnementales

En Durance, les MES et le NH₄ ont été suivi par l'entreprise avec un contrôle extérieur régulier prévu par le maître d'ouvrage.

Le chantier s'est déroulé d'août à Novembre 2004, hors période de crues supérieures à 100 m³/s correspondant à une côte d'environ 16,5 m NGF, cote d'arasement des îlots.

Les franchissements des chenaux ont été réalisés par des passages busés dimensionnés pour un débit de 100 m³/s correspondant au seuil limite du chantier. Ils sont submergés au dessus du débit de 300 m³/s.

Pour la réalisation du contre canal une pêche électrique préalable de sauvegarde des poissons a été réalisée en concertation avec les services de police des eaux et le Conseil Supérieur de la Pêche.

Le suivi environnemental mis en œuvre lors de la réalisation du viaduc sur la Durance (2006 à 2008)

Pour la réalisation du viaduc sur la Durance, l'ensemble des intervenants (maître d'ouvrage, maître d'œuvre, entreprises) s'est engagé dans une démarche environnementale.

Le maître d'ouvrage a eu pour objectif :

- de tout mettre en œuvre pour s'assurer que l'environnement était bien pris en compte au moment du chantier,

- de choisir dans ce cadre le maître d'œuvre adéquat,
- de concerter avec les organismes compétents,
- d'assurer éventuellement des contrôles exceptionnels auprès du maître d'œuvre pendant la phase de chantier,
- d'établir un bilan de cette phase de chantier « bilan intermédiaire » pendant la première année de mise en service.

Le maître d'œuvre s'est engagé :

- à adopter une démarche qualité intégrant les préoccupations de l'environnement (organisation interne, formation, information, contrôles, suivis),
- à choisir les entreprises de travaux publics les plus performantes en la matière,
- à établir les pièces du marché intégrant les problématiques environnementales, dont la notice d'environnement, le cadre de la démarche environnementale (Schéma organisationnel du plan de respect de l'environnement), les pièces techniques, à juger les offres en considérant l'environnement comme un réel critère de sélection,
- à assurer des contrôles sur le chantier soit en interne soit par un organisme spécialisé indépendant et à appliquer des pénalités,
- à établir un bilan de cette phase de chantier.

Les entreprises dans une démarche environnementale s'engagent :

- à adopter la démarche qualité environnement selon le cadre que lui aura donné la maîtrise d'œuvre dans l'appel d'offre,
- à définir des protocoles et des procédures environnementales spécifiques à chaque tâche présentant un risque pour l'environnement,
- à former et informer les compagnons du chantier,
- à identifier un ou plusieurs correspondants « environnement » sur le chantier,
- à assurer des contrôles internes à la chaîne de production et externe au chantier.

La démarche concerne bien sûr toute les phases du chantier : tant l'amont en phase de préparation (pièces constitutives des dossiers de consultation des entreprises, préparation du chantier avec l'entreprise), que la phase travaux (contrôles, suivis) puis la clôture du chantier (valorisation et restitution).

En phase amont la définition du Plan de Respect de l'Environnement (PRE) et du Plan d'Alerte Pollution (PAP) a nécessité de nombreuses mises au point entre les différents acteurs (pas moins de huit versions successives pour le PRE avant validation, quatre pour le PAP).

Le Plan de Respect de l'Environnement est similaire à un plan d'assurance qualité.

Il a été élaboré par le correspondant environnement de l'entreprise mandataire, et soumis à l'approbation du maître d'œuvre.

Le PRE doit s'articuler avec les autres plans : plan de déboisement, plan des installations de chantier, Plan de Gestion et d'Élimination des Déchets (peut être inclus dans le PRE), plan d'Intervention d'urgence en cas de pollution ou Plan d'Alerte Pollution.

Il précise les moyens mis en œuvre par l'entreprise pour respecter les clauses contractuelles : modèles de fiches par tâches élémentaires impactant l'environnement, fiches de suivis, d'anomalies ou encore de points d'arrêt.

À ce plan sont associées des fiches de procédure qui identifient les solutions environnementales mises en œuvre par type de travaux :

- Traitement paysager et architectural,
- Fonctionnement du chantier - horaires, plan d'urgence, centre de vie,
- Nuisances acoustiques,
- Génie écologique,
- Drainage plate-forme et assainissement,
- Déchets,
- Terrassements et pistes,
- Sécurité du chantier,
- Stockage des matériaux, emprunts et réemploi,
- Remise en état du site ,
- Revégétalisation et choix des mélanges,
- Entretien des engins,
- Rétablissements et dessertes,
- Espèces remarquables,
- Installations de chantier,
- Défrichage et déboisement.

Le Plan d'Alerte Pollution a identifié tous les risques sur la LEO :

- Déversement de produits polluants pour l'Environnement,
- Inondation,
- Incendie,
- Fuite du pipeline,
- Découverte d'engins de guerre,
- Heurt d'une ligne à haute tension,
- Chute à l'eau.

Il définit les actions et mesures d'urgence à mettre en œuvre. Il vise les personnes à contacter, et est élaboré en collaboration avec le responsable sécurité.

Le Plan de gestion des déchets doit permettre la traçabilité des déchets. Il évalue les tonnages de déchets et leurs filières de traitement ou de mise en dépôt.

Aucun rejet d'eau direct n'est réalisé en milieu naturel : deux bassins de rétention provisoire des eaux ont été mis en œuvre en rive gauche et un en rive droite pour traiter les eaux en phase chantier. Ces bassins ont été équipés de polyane pour assurer au mieux leur étanchéité, et de filtres à paille pour limiter les rejets de MES. Ils permettent la décantation et la dépollution avant rejet régulé à 4 l/s en Durance. Le régime assez capricieux de la Durance a mené la vie dure à ces équipements provisoires (figure 6).

En phase travaux, le suivi environnemental impose une mobilisation et une information du coordonnateur environnement du chantier et du coordonnateur de l'entreprise.



Figure 6 : bassin de rétention provisoire après une crue
Source : CETE Méditerranée

Le plan de contrôle pour le suivi de l'environnement prévoit, outre le suivi au quotidien par les compagnons de l'entreprises et les contrôleurs du maître d'œuvre :

- un contrôle extérieur de chantier tous les mois donnant lieu à des comptes rendus photographiques,
- une visite collégiale entre le coordonnateur de l'entreprise le coordonnateur chantier, la maîtrise d'œuvre et le contrôle extérieur tous les 3 mois,
- des prélèvements d'eau en rivière pour analyse des taux de matière en suspension lors des travaux susceptibles d'entraîner une pollution des eaux superficielles,
- des prélèvements périodiques des eaux souterraines pour analyser la qualité des eaux de la nappe phréatique à comparer à l'état zéro réalisé avant travaux.

En parallèle des contrôles effectués dans le cadre du marché de travaux, le maître d'ouvrage a poursuivi le suivi environnemental des inventaires sur la faune et l'avifaune conformément aux engagements pris lors des états des lieux initiaux réalisés avant le démarrage des travaux.



Figures 7 : diverses espèces sensibles à proximité du chantier
Source : CETE Méditerranée

Ce suivi a permis de constater les effets bénéfiques des travaux préparatoires réalisés en 2004, notamment l'effet de l'arasement des roselières de Durance, qui en enlevant les limons accumulés depuis la mise en place de nombreux barrages sur la Durance, a permis une reconquête du milieu par les roseaux et de recréer des habitats propices à de nombreuses espèces d'oiseaux (grands hérons, rapaces lacustres, lusciniolles à moustaches, blongios nains, etc.). Le suivi environnemental a montré un gain net en biodiversité. Des blongios nains, espèce particulièrement sensible à la présence humaine, se sont installés, et des équipes présentes sur le chantier du pont aval ont rencontré plusieurs fois des castors (figures 7).

Conclusions - intérêt et valorisation des démarches environnementales

L'environnement et le développement durable sont des enjeux fondamentaux des projets routiers, et la construction de la Liaison Est-Ouest à Avignon en est un bon exemple.

Les déplacements liés à l'infrastructure routière doivent être en cohérence avec les territoires traversés, et la route doit être la bonne réponse à la problématique de déplacement de ces territoires. Vis-à-vis de ces aspects, le projet LEO permet une reconquête de l'espace urbain au sud d'Avignon, et offre la possibilité de requalifier de nombreux axes urbains saturés pour pouvoir y mettre en place des transports collectifs efficaces et des modes doux. À ce titre, l'utilité publique de la LEO n'est pas contestable.

Sur le plan de l'impact à l'environnement, une fois admis à la fois l'utilité publique du projet et l'impossibilité d'éviter la totalité des impacts négatifs, le maître d'ouvrage routier doit chercher à minimiser ces derniers et éventuellement prévoir des mesures compensatoires aptes à créer un impact global positif sur la biodiversité.

Le projet LEO qui traverse des espaces naturels très sensibles (classés en grande partie Natura 2000) est un bon exemple de projet ayant réussi à aboutir à un résultat global positif en terme d'impact à l'environnement.

L'ensemble des mesures écologiques mises en œuvre par le maître d'ouvrage tant au niveau des aménagements étudiés, qu'au niveau des spécifications et du suivi environnemental en phase travaux a permis de recréer des habitats propices à de nombreuses espèces d'oiseaux et a montré un gain net en terme de biodiversité ■

Pièces écrites types de réparation

L'ingénierie des ouvrages existants correspond à une forte attente des maîtres d'ouvrage qui sont confrontés à un patrimoine vieillissant. Dans le cadre de son programme d'action, le Sétra participe à la mise au point d'un corpus technique relatif à la conception et à l'exécution des réparations des ouvrages.

En particulier, et contrairement au cas des ouvrages neufs, il n'existe quasiment pas de pièces écrites types pour les travaux de réparation. Face à l'évolution de la réglementation (normes européennes), des techniques et des produits de réparation, la rédaction de pièces écrites de qualité ne peut se faire qu'au prix d'un investissement en temps très lourd pour les gestionnaires d'ouvrages.

C'est pourquoi le Sétra a engagé une action pour la mise au point de pièces écrites types actualisées, CCTP et BPU, correspondant à différents types de réparation. Ces documents ont été rédigés ou sont en cours de rédaction par différents groupes de spécialistes des sujets traités.

Les documents déjà rédigés sont les suivants :

Changement des appareils d'appui

Les documents sont accompagnés d'un guide d'aide à la rédaction.

Maçonneries

Les documents concernent les rejointoiements et reconstitutions locales, les protections par béton projeté, les injections, les épingles, les tirants d'ancrage et les enserrements.

Béton armé

Les documents concernent les régénérations superficielles (ragréages locaux manuels), les revêtements, les calfatages et injections des fissures, les reconstitutions par béton projeté avec ou sans adjonction d'armatures.

Il est à noter que pendant l'actuelle période de transition, ces pièces écrites laissent au rédacteur le choix entre les nouveaux textes européens (normes de la série 1504) et les anciens textes français (normes de la série P18).

Matériaux composites collés

Ces documents sont rédigés en cohérence avec le guide AFGC de juin 2007 sur le sujet.

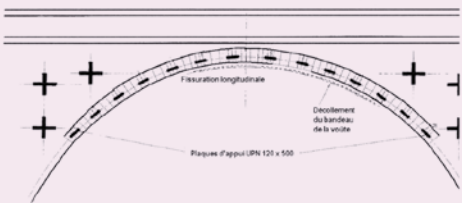
Les pièces écrites relatives à d'autres sujets sont en cours d'élaboration.

L'objectif à moyen terme est d'intégrer ces documents dans le logiciel d'aide à la rédaction des pièces écrites PETRA qui pour l'instant ne concerne que les ouvrages neufs.

En attendant, les documents déjà rédigés sont mis gratuitement à la disposition de la communauté technique sous forme de fichiers textes (plus de 700 pages). Ils sont disponibles en version Open Office et en version Word.

Ces documents sont téléchargeables sur le site internet du Sétra :

- http://www.piles.setra.developpement-durable.gouv.fr/rubrique.php3?id_rubrique=178

Commentaires	Textes
<p>4.11.5. Forages</p> <p>4.11.5.1 Implantation</p>  <p>Figure 1 : exemple d'implantation de forages</p> <p>4.11.5.2. Diamètre</p> <p>4.11.5.3 Exécution des forages</p>	<p>4.11.5. Forages</p> <p>4.11.5.1. Implantation</p> <p>La position des forages est tracée à la peinture sur la maçonnerie avec indication du numéro du forage. De la même manière, le point de sortie du forage est repéré. Ces indications sont reportées sur le plan de récolement tenu à jour d'une manière hebdomadaire. Pour les bandeaux, les forages sont implantés au milieu des moellons, si cette implantation est compatible avec l'épaisseur de la voûte. La tolérance d'implantation est de 5cm.</p> <p>4.11.5.2. Diamètre</p> <p>Le diamètre des forages est compris entre 50 et 70 mm et est déterminé de la manière suivante :</p> <ul style="list-style-type: none"> - cas de scellement à la résine : diamètre de la barre augmenté de 4 à 8 mm - cas de scellement au coulis : diamètre de la barre augmenté de 10 à 15 mm <p>4.11.5.3 Exécution des forages</p> <p>Si la foration se fait à l'air comprimé, la pression doit être strictement contrôlée et ne pas dépasser 0,3 MPa. Le refroidissement à l'eau doit être contrôlé pour éviter le délavage des maçonneries.</p> <p>maçonnerie en bon état :</p> <p>On peut recourir à des forages destructifs.</p> <p>maçonnerie en mauvais état :</p> <p>La partie du forage dans les maçonneries est réalisée préférentiellement en</p>

En général les CCTP se présentent sous la forme d'un texte en page de droite complété par des commentaires en page de gauche – Source : Extrait du CCTP type de DCE de réparation ou de renforcement des ouvrages en maçonnerie - version 1.1 du 19 juin 2008

Stages

Ponts Formation Édition : la formation continue de l'École des Ponts dans le domaine des ouvrages d'art

Cycle « Inspection des ouvrages d'art » module 6 : diagnostic	9 au 11 décembre 2008
Maîtriser l'exécution des structures en bétons - applications ouvrages d'art et bâtiments	9 et 10 décembre 2008
Gérer son patrimoine d'ouvrages d'art	21 et 22 janvier 2009
Cycle « Inspection des ouvrages d'art » module 1 : connaissances de base 1 ^{re} partie	27 au 29 janvier 2009
Choisir, mettre en œuvre et entretenir les dispositifs de retenue des ponts routiers	29 janvier 2009
Ponts en maçonnerie - module 1 : surveiller et diagnostiquer	3 et 4 février 2009
Prescrire les bétons de structure selon les nouveaux référentiels (NF EN 206 1, Eurocodes, EN 13670, fascicule 65) : mieux viser la durabilité des ouvrages	4 et 5 février 2009

Renseignements et programmes détaillés des stages ENPC : tél : 01 44 58 27 28 ou site : <http://pfe.enpc.fr>

Renseignements concernant les cycles internationaux : tél : 01 44 58 28 28 ou 28 27.

Publications

• Eurocode 2 - Application aux ponts-routes en béton

Guide méthodologique

Référence : 0837 - Juillet 2008 - 276 pages - Prix de vente : 26 euros

Ce guide méthodologique aborde la mise en application des prescriptions de l'Eurocode 2 aux ponts en béton.

Destiné aux projeteurs, il présente les principes de justification de l'Eurocode 2 et met l'accent sur les différences et les nouveautés par rapport à la pratique française.

Riche de nombreux exemples, il ambitionne de servir efficacement la profession des constructeurs de ponts en béton et tout particulièrement les bureaux d'études et les maîtres d'œuvre.

Il contribuera certainement, dans son domaine, à faciliter le passage de nos règlements de calculs actuels aux eurocodes.

• Construction des ouvrages d'art - année 2006

Référence : 0855w - Septembre 2008 - 50 pages - À télécharger sur les sites du Séttra

Ce document présente, sous forme synthétique, les résultats statistiques relatifs à la construction des ouvrages d'art en France en 2006.

Il se compose de trois parties :

- ponts routiers ;
- ponts autoroutiers ;
- ponts ferroviaires.

Il fait ressortir la répartition des ponts construits suivant le type, le matériau, la brèche, la voie portée..., en précisant les surfaces et les coûts correspondants.



Coordonnées des rédacteurs

Robert Bonnefoy
DIR Méditerranée
Tel : 04 90 80 87 91

Pierre Corfdir
CETE de l'Est/D4/D43
Tel : 03 87 20 46 10

Pierre-Marie Dubois
PMD - ATEAV Systems
Tel : 32(2)384 33 65

Frédérique Gerbeaud-Moulin
CETE Méditerranée
Tel : 04 42 24 79 78

Bruno Godart
LCPC Paris
Tel : 01 40 43 53 32

Hervé Marneffe
CETE de l'Est/D6/D64
Tel : 03 83 18 41 06

Daniel Michaux
PMD - ATEAV Systems
Tel : 32(2)384 33 65

Joël Pou
DRE PACA/SMO
Tel :

David Ranfaing
DIR Méditerranée
Tel : 04 91 99 80 66

Fabien Renaudin
CETE de l'Est/D4/D43
Tel : 03 87 20 46 29

Jacques Resplendino
DIR Méditerranée
Tel : 04 91 28 42 58

Le catalogue des publications et logiciels du Sétra est consultable sur internet et le réseau i2 du ministère de l'Écologie, de l'Énergie, du Développement durable et de l'Aménagement du territoire.

Vous y trouverez :

- les dernières parutions,
- les ouvrages disponibles, avec résumé, référence, prix de vente...,
- les modalités de commande.

Retrouver également en téléchargement (au format PDF) les numéros précédents du Bulletin Ouvrages d'art.

sur internet : <http://www.setra.developpement-durable.gouv.fr>

sur i2 : <http://intra.setra.i2>

46 avenue
Aristide Briand
BP 100
92225 Bagneux Cedex
France
téléphone :
33 (0)1 46 11 31 31
télécopie :
33 (0)1 46 11 31 69
internet : www.setra.developpement-durable.gouv.fr

Ce bulletin est un périodique d'information à l'intention des spécialistes d'ouvrages d'art. Il est destiné à décrire la construction d'ouvrages marquants et à faire connaître des techniques particulières ou innovantes.

Ce bulletin est consultable et téléchargeable :

- sur internet : <http://www.setra.developpement-durable.gouv.fr>
- sur i2 (réseau du Ministère) : <http://intra.setra.i2>



Document disponible au bureau de vente du Sétra
46 avenue Aristide Briand - BP 100 - 92225 Bagneux Cedex - France
téléphone : 33 (0)1 46 11 31 53 - télécopie : 33 (0)1 46 11 33 55
Référence : **0854**

*Couverture - crédit photos : Hervé Marnette (CETE de l'Est), CETE Méditerranée, Pierre-Marie Dubois, Daniel Michaux (PMD - ARTEAV Systems)
Conception graphique - mise en page : Eric Rillardon (Sétra)
Impression : Caractère - 2, rue Monge - BP 224 - 15002 Aurillac Cedex
L'autorisation du Sétra est indispensable pour la reproduction, même partielle, de ce document
© 2008 Sétra - Dépôt légal : 4^e trimestre 2008 - ISSN : 1266-166X - ISBN : 978-2-11-094648-5*



Ce document participe à la protection de l'environnement.
Il est imprimé avec des encres à base végétale sur du papier écolabélisé PEFC.
CTBA/06-00743

Le Sétra appartient
au Réseau Scientifique
et Technique
du MEEDAT

