

RÉPARATION ET RENFORCEMENT DES STRUCTURES DE GRANDE HAUTEUR AU MOYEN DES MATÉRIAUX COMPOSITES

Alain SIMON

Eiffage Travaux Publics - STOA

Bassam DIB

TDF – Direction de l'Ingénierie et des Infrastructures

Philippe POINT

EDF – Centre d'Ingénierie Thermique



1. INTRODUCTION

A ce jour les principales techniques de renforcement des structures sont le coulage ou la projection de béton, la précontrainte additionnelle ou le collage de plats métalliques. Depuis environ 40 ans, cette dernière technique appelée « procédé l'Hermite » constitue une méthode couramment utilisée mais plutôt délicate, longue et coûteuse à mettre en œuvre.

S'inspirant de ces plats collés, l'idée d'employer des matériaux composites à base de fibres de carbone constitua dès le milieu des années 1990 une innovation dans le BTP. Le principe est d'augmenter la capacité résistante d'un élément de structure dont les armatures ne sont pas suffisamment dimensionnées (section et bras de levier).

En France le secteur du bâtiment a fréquemment recours à cette solution pour des renforcements de dalles, de poutres, pour des créations de trémies... Elle est également utilisée dans le domaine des ouvrages d'art. On peut citer l'augmentation de capacité en flexion transversale du tablier du pont sur l'Huisne dans la ville du Mans (Photo 1) ou encore le renforcement longitudinal en intrados des poutres du VIPP de Toutry sur l'autoroute A6.



Photo 1 - Renfort composite transversal en intrados du tablier du pont sur l'Huisne

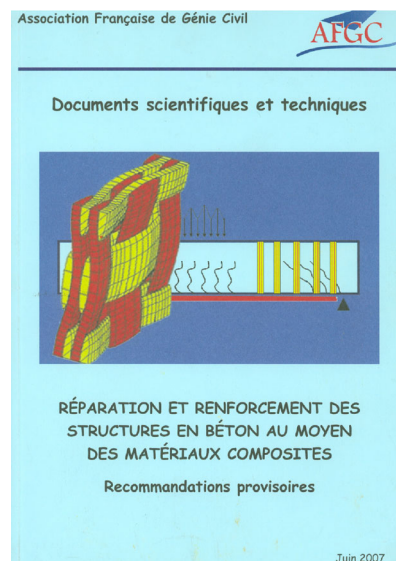


Photo 2 - Recommandations de l'AFGC, deuxième édition (2007)

L'AFGC n'est pas étrangère à cet essor des composites, puisqu'un groupe de travail, sous l'impulsion du professeur P. Hamelin, continue de développer, de valider et de faire connaître les principes de calculs applicables, ainsi que les protocoles expérimentaux nécessaires à l'obtention de leurs données d'entrée (Photo 2).

Dans cet article nous présentons deux applications originales en génie-civil pour lesquelles les composites facilitent l'intervention en grande hauteur.

2. TOUR TDF DU MONT GEX

2.1. Contexte

Située dans l'Ain (01) sur la commune de Mijoux, à 1534m d'altitude, la tour TDF du mont Gex est un émetteur relai pour les chaînes de télévision, les radios ainsi que certains opérateurs de téléphonie mobile. D'une hauteur totale de 88m, elle est constituée d'une partie inférieure en béton armé de section carrée, entre les niveaux +0.0m et +55.5m, surmontée d'un pylône métallique (Photo 3).

Compte-tenu de l'évolution des règles de dimensionnement (la construction de la structure principale en béton armé datant des années 60) et de l'augmentation de la prise au vent de l'ouvrage engendrée par des équipements nouveaux en façade, le maître d'ouvrage a engagé une expertise de la tour : essais de qualification des matériaux constitutifs de la structure par le CEBTP et contre-calculs par des bureaux d'études. Le diagnostic d'un besoin de renforcement vertical fût alors établi.



Photo 3 - Vue d'ensemble de la tour

A l'issu d'un appel d'offres, la société Résirep (filiale d'Eiffage Travaux Publics), située à Sorbiers (42), a été retenue par TDF pour mettre en œuvre les renforts nécessaires. La solution proposée consistait à utiliser le procédé composite de SIKa.

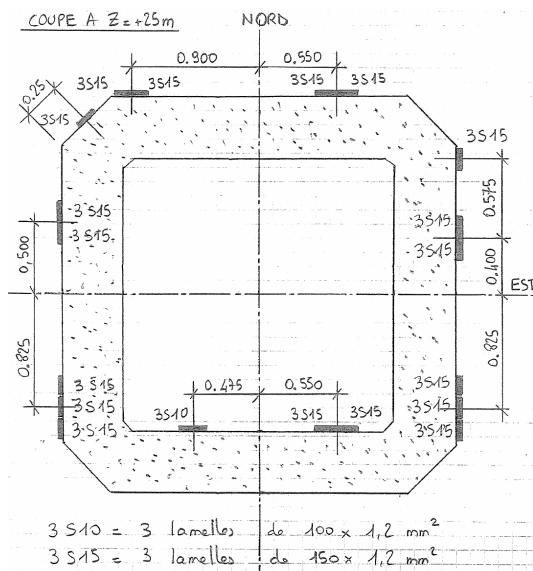


Figure 1 Coupe transversale en zone renforcée



Photo 4 - Enchevêtrement des équipements en façade

2.2. Renforcement de la tour

Les études d'exécution ont rapidement conduit à s'orienter vers le choix de lamelles carbone plutôt que des solutions à base de tissus, compte-tenu des sections à mettre en œuvre et de la place disponible (Photo 4). En effet les équipements nouveaux fixés sur les différentes façades ont nécessité une optimisation du calepinage des renforts verticaux (Fig. 1 et 2). C'est à cette fin que des superpositions de lamelles ont été appliquées : jusqu'à 3 épaisseurs de 1.2mm. L'ensemble des dispositions envisagées et des justifications apportées ont fait l'objet d'un contrôle extérieur assuré par SOCOTEC.

L'opération complète a mobilisé 4 personnes (dont un chef de chantier) pendant 7 semaines, respectant le délai imparti. Les principales étapes furent chronologiquement les suivantes :

- montage de l'échafaudage, en appui sur le dernier plancher béton de la tour (Photo 5),
- préparation du support par ponçage avec aspiration des poussières,
- vérification de la cohésion superficielle du béton en place, par des essais de traction (ou essais de « pastillage ») au moyen d'un dynamomètre (la contrainte doit être supérieure à 1.5MPa),
- collage des lamelles (2 largeurs ont été utilisées, 100 et 150mm, en fonction de la place disponible),
- application d'un revêtement souple de finition (Sikagard 550W). Ce dernier remplit une double fonction : imperméabilisation de la structure et protection du composite vis-à-vis des rayons UV,
- démontage de l'échafaudage et repli de chantier.

Le chantier a ainsi pu être réalisé sur l'ouvrage en exploitation, sans aucun démontage d'équipement même temporaire : la continuité des transmissions n'a pas été affectée par les travaux.



Caractéristiques des matériaux :

Lamelle Sika® CarboDur®

Résistance garantie en traction	> 2800 MPa
Module d'élasticité	165 000 MPa
Elongation à la rupture	> 1.7%
Epaisseur	1.2 mm
Largeurs utilisées	100 et 150 mm

Colle époxydique Sikadur®-30

Résistance en compression, à 28j	≈ 80 MPa
Résistance au cisaillement, à 28j	≈ 18 MPa
Résistance en traction, à 28j	≈ 30 MPa

Hypothèses de calcul

ELU : déformation ultime	8.5‰
ELS : contrainte limite	450 MPa

Photo 5 - Travaux en cours

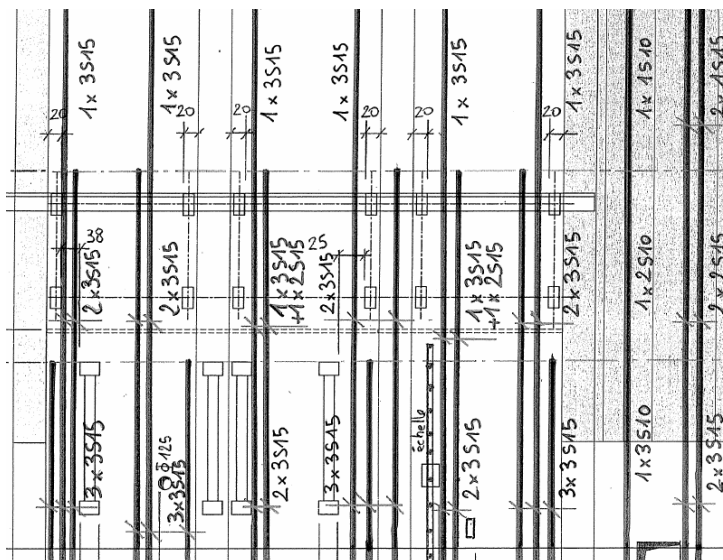


Figure 2 - Elévation dans la zone renforcée

3. CHEMINÉES EDF DE CHAMPAGNE SUR OISE

3.1. Contexte

Située sur la rive de l'Oise, la centrale EDF de Champagne/Oise (95), comporte deux cheminées en béton armé de 110m de haut (Photo 6), construites au début des années 60 et désormais hors-service.

Dans le but de définir un projet de déconstruction, EDF a engagé une expertise préliminaire des ouvrages. Une inspection détaillée a révélé la présence d'amiante dans le vide situé entre le fût béton des cheminées et leur revêtement intérieur en briques réfractaires. Cette découverte a conduit à phaser les opérations de déconstruction et notamment à recourir à des techniques d'intervention télé-opérées de désamiantage à l'intérieur de l'ouvrage.

Pour ce faire et compte-tenu de l'état de fissuration du béton en partie haute des cheminées, les zones d'implantation des matériels de chantier devaient être localement renforcées. Il convient ici de mentionner que sur les 40 derniers mètres de chaque cheminée, l'épaisseur du fût béton n'était que de 10cm.

Pour chaque cheminée, le projet de renforcement a été adapté à l'état réel du support. Ainsi la cheminée tranche 1 n'a été renforcée que très ponctuellement par couture des fissures traversantes localisées sous le sommet (Fig. 3). La cheminée tranche 2 présentait quant à elle une fissuration horizontale périphérique plus étendue mais moins ouverte, marquée principalement au niveau des reprises de bétonnage. Un renforcement vertical réparti sur la zone a été entrepris (Photo 8).



Photo 6 - Site de la centrale EDF de Champagne/Oise



Photo 7 - Tranche 2 : mise en place des lamelles composites depuis les nacelles

3.2. Renforcement des cheminées

Pour intervenir sur la tranche 1, une passerelle de travail a été installée en tête de la cheminée, tandis qu'une nacelle volante a été utilisée pour parcourir l'étendue de la zone en tranche 2 (Photo 7). La phase de renforcement a mobilisé 5 personnes (y compris le chef de chantier), dont une en pied d'ouvrage pour les approvisionnements réalisés au moyen d'un treuil placé au sol (une poulie étant installée sur l'ouvrage). La légèreté des matériaux employés a permis leur amenée rapide depuis le sol jusqu'aux postes de travail.

Sur ces postes le mode opératoire était ainsi décomposé :

- repiquage des bétons altérés et élimination des supports non adhérents,
- bourrage des fissures au mortier de réparation,
- ponçage des zones de collage,
- encollage du support et des lamelles (largeur 100mm),
- collage des lamelles (compte-tenu de leur relative rigidité, les lamelles utilisées en cerces doivent être maintenues contre le support pendant le début de la polymérisation de la colle, soit entre 24 et 48h selon les conditions ambiantes) et enfin marouflage (pour chasser l'air emprisonné et l'excès de colle).

Une fois terminées ces interventions de renforcement, les opérations de désamiantage à l'intérieur des cheminées purent débuter, avant l'opération finale de déconstruction.

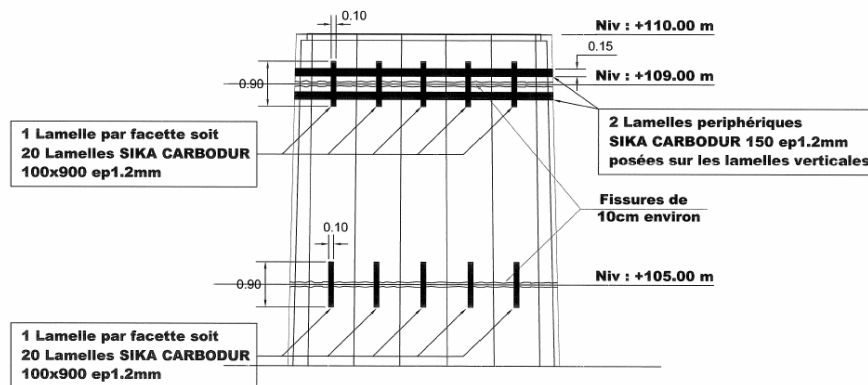


Figure 3 - Principe de renforcement en tranche 1



Photo 8 - Vue d'ensemble de la zone renforcée (tranche 2)

4. CONCLUSION ET PERSPECTIVES

Les deux expériences présentées témoignent de la pertinence de la technique de renforcement au moyen des matériaux composites sur ouvrages de grande hauteur, pour lesquels les conditions d'accès et de travail dans les zones d'intervention sont les deux points clés.

Une nouvelle étape sera bientôt franchie puisqu'une opération concernant le renforcement des deux tours de refroidissement (hauteur 165m / diamètre à la base 149m / diamètre au sommet 84m) de la centrale électrique de Nogent sur Seine est en cours de préparation avec EDF pour une mise en application programmée en 2009.



Photo 9 – Réfrigérant atmosphérique de la centrale EDF de Nogent sur Seine

PRINCIPAUX INTERVENANTS

Tour TDF de GEX

Maître d'ouvrage
TDF

Maître d'œuvre
TDF – Direction de l'ingénierie et des Infrastructures

Bureau de contrôle
SOCOTEC – Direction Opérationnelle Centrale

Bureau d'études
Eiffage TP – STOA

Entreprise
RESIREP (Eiffage Travaux Publics)

Fournisseur matériaux composites
Sika France SA – BU Entreprises Spécialisées

Cheminées EDF de CHAMPAGNE/OISE

Maître d'ouvrage délégué
EDF – Centre de Post-Exploitation

Assistant maître d'ouvrage
EDF – Centre d'Ingénierie Thermique

Maître d'œuvre
Arnaud Démolition

Bureau de contrôle
SOCOTEC – Direction Opérationnelle Centrale

Bureau d'études
Eiffage TP – STOA

Entreprise
Eiffage TP – Département GCN

Fournisseur matériaux composites
Sika France SA - BU Entreprises Spécialisées