

Société FREYSSINET

RENFORCEMENT DE STRUCTURES PAR COLLAGE D'UN TISSU DE FIBRES DE CARBONE

La technique de réparation des structures par collage d'armatures de renfort a connu depuis peu un perfectionnement décisif : il s'agit de la substitution aux tôles d'acier traditionnelles de tissus composites souples à base de fibres de carbone, en abrégé TFC®.

Les avantages du TFC® sont nombreux :

- **résistance et module élastique élevés,**
- **insensibilité à la corrosion,**
- **légèreté,**
- **grande souplesse de mise en œuvre sur des surfaces de toute forme et de toute nature,**
- **excellente résistance à la fatigue et à l'abrasion.**

Pour toutes ces raisons, le TFC® est promis à un brillant avenir dans le domaine du bâtiment et dans celui du génie civil.

Le procédé TFC® est un procédé breveté de renforcement structural par collage d'armatures additionnelles à base de fibres de carbone.

Le procédé est basé sur le principe d'un placage de matériau résistant aux efforts de traction et judicieusement collé sur les zones tendues de la pièce à renforcer pour en augmenter les performances en fonctionnement. Le procédé a essentiellement un rôle de renforcement structural aux efforts engendrés par les effets de flexion comme d'efforts tranchants.

Le TFC® est un composite à base de fibres de carbone matricées dans un liant synthétique appliqué à froid dans le but d'être intégré par adhérence au support pour équilibrer les tractions induites dans la section.

La mise en œuvre du composite directement sur le support permet de mouler la forme exacte de la pièce à renforcer, de ne pas manier des plaques lourdes ou encombrantes, de ne pas avoir d'autre interface de collage avec le support que la matrice même du composite, et donc de ne pas générer de concentration de cisaillement pouvant provoquer des amorces de décollement dans les zones de faible épaisseur de résine.

Grâce aux recherches menées ces dernières décennies sur l'usage de matériaux composites dans le génie civil, cette technique de renforcement a été développée par un groupement de partenaires industriels français. Elle met en œuvre le collage d'un tissu mince de fibres de carbone (TFC®) à l'aide d'une résine thixotrope de base époxy. La grande originalité du procédé est que le collage se fait à froid et sans pression de placage grâce à la mise au point d'une fibre et d'une colle spécialement étudiées pour les applications de BTP. En plus des propriétés exceptionnelles des matériaux composites, la technique offre une simplicité de mise en œuvre et une

maniabilité qui permettent d'envisager le plus grand nombre d'applications dans les conditions les plus variées.

La mise au point de cette nouvelle technique de réparation vient apporter aux problèmes de renforcement d'ouvrages une solution fiable et définitive, d'un encombrement très réduit pour des performances optimum.

Insensible à la corrosion, le TFC® possède des propriétés exceptionnelles de résistance aux agressions chimiques.

De nombreuses applications ont à ce jour été réalisées tant dans le domaine du bâtiment que dans celui des ouvrages d'art.

1 – Ouvrages d'art

Une solution mixte de renforcement

L'aciérie de Sollac Lorraine, près de Thionville, achemine la fonte liquide nécessaire à sa production par voie ferrée.

Les wagons qui la transportent empruntent un pont ferroviaire qui a dû être renforcé par précontrainte additionnelle et TFC®.

Implanté dans la vallée de la Fentsch, entre Metz et Luxembourg, Sollac Lorraine est l'un des principaux centres de production d'acier plat au carbone. Les produits fabriqués sont destinés principalement aux marchés de l'automobile, de l'électroménager, de l'emballage et du bâtiment. La fonte liquide, produite dans les hauts-fourneaux de Hayange, alimente l'aciérie. Elle y est acheminée par voie ferrée dans des « poches tonneaux », wagons en forme de cigare, et emprunte l'unique point de passage : un pont ferroviaire en forme de « Y » constitué de sept travées isostatiques en béton formées par des poutres.

Un renforcement mixte

En 1998, le service production de Sollac a souhaité augmenter la capacité de stockage des poches tonneaux de 160 t à 235 t, impliquant ainsi un redimensionnement de l'ouvrage d'art. L'opération a été confiée à Freyssinet qui, en collaboration avec le service technique de Sollac, a proposé une solution mixte de renforcement alliant précontrainte additionnelle et collage de tissu de fibres de carbone (TFC®).

Pour reprendre à la fois le moment fléchissant en travée et l'effort tranchant sur appui, les poutres des tabliers ont été renforcées par précontrainte additionnelle. Celle-ci est réalisée par des câbles 2T15 et 4T15 formés de torons gainés graissés, et protégés en extérieur par des tubes galvanisés revêtus d'une peinture anti-corrosion. Le déficit d'armatures en bielles d'appui a, quant à lui, été compensé par collage de tissu de fibres de carbone, avec l'application de une à trois couches suivant la portée des poutres, soit au total 355 m de TFC® de 200 mm de large. Aux abouts des poutres, la poussée des bielles d'appui est reprise par des platines métalliques ancrées par des goujons et sur lesquelles est appliqué le TFC®.

Le renforcement des poutres situées au-dessus des voies de passage réservées au Cress, véhicule transportant les résidus de fonte à 800°C, bénéficie d'une protection au feu. En effet, outre l'installation d'un bouclier métallique en sous-face du tablier pour prévenir tout choc thermique, les bandes de TFC® ont été ignifugées localement par application d'un mortier hydraulique armé.

Pont sur la Drôme Autoroute A7 (Drôme)

Construit en 1965, le passage inférieur 911 est constitué de deux tabliers de 5 travées de 34,2 m chacune et de 6 poutres transversales entretoisées sur appuis et aux tiers de travée.

De nombreuses campagnes de gammagraphie associées à des césariennes ont mis en évidence de graves défauts sur les câbles de précontrainte, tels des ruptures de fils, liés à des déficiences d'injection de coulis. Ces désordres réduisent considérablement la résistance à l'effort tranchant en about et entraînent un risque de fissuration de la bielle. Afin de sécuriser l'ouvrage pendant l'élaboration d'un projet de remplacement ou de réparation globale, Autoroute du Sud de la France a décidé le renforcement ponctuel des zones d'about sur les poutres les plus sollicitées. La réparation concerne 60 abouts de poutres.

Confiés à Freyssinet, les travaux portent sur l'application de 700m² de TFC® en parties basse et inférieure de la poutre sur une longueur de 4 m. Cette application est réalisée en plusieurs épaisseurs suivant les zones. Les contraintes climatiques ont imposé des délais d'intervention très courts, six semaines, et les crues importantes de la Drôme ont nécessité un aménagement pour accéder aux zones à traiter.

Les travaux, réalisés sans interruption de la circulation (700 000 véhicules par jour) se sont achevés le 15 décembre.

Responsable des travaux : Sébastien Blanc

Encadrement de chantier : Francis Paris et Stéphane Guglielmo

2 – Bâtiments

Tissu de fibres de carbone (TFC®)

Renforcement du Mayten

Dans le cadre d'un changement d'affectation, les planchers de l'immeuble Mayten, à Singapour, ont été renforcés par TFC®.

Situé sur l'île de Singapour, le Mayten est un bâtiment industriel, construit en 1996, comprenant quatre étages et un parking souterrain. Ses planchers, en béton précontraint par post-contrainte, ont été conçus et réalisés par PSC Freyssinet (S) Pte Ltd, en collaboration avec le consultant. Le premier niveau est constitué d'un système de dalle et de poutres et les étages supérieurs de dalles plates. Le nouveau locataire, DataOne Asia, souhaitait renforcer les planchers existants pour répondre à de nouvelles exigences de charges. Le projet prévoyait la création d'un entresol au-dessus du premier niveau existant et l'augmentation de la capacité de charge des

deuxième et troisième niveaux de 10kPa à 16 kPa et de celle de la dalle de toit de 5 kPa à 7 kPa. Psc Freyssinet (S) Pte Ltd a été chargé, par les ingénieurs-conseils initiaux, d'élaborer une solution de renforcement par collage de Tissu de Fibres de Carbone (TFC®). Les principales exigences à respecter par le maître d'ouvrage étaient les suivantes : l'effet de post-tension sur les calculs de compatibilité des efforts après et avant l'application du TFC®, le type de mode de rupture (ductilité) de la structure à l'état limite ultime et l'exigence d'une protection anti-incendie applicable au TFC®. Les bandes de TFC® ont été principalement appliquées dans les zones de moment fléchissant en sous-face des dalles, suivant la disposition des câbles de précontrainte avec un espacement maximal égal à six fois l'épaisseur de la dalle. Le renforcement des zones de moment sur appui a généralement été évité, en raison des travaux supplémentaires que nécessitait l'enlèvement des revêtements de sol. Après application du TFC® sur les poutres et les dalles, une couche de sable fin a été projetée sur la couche époxy supérieure, avant le séchage final, en vue des travaux de finition de surface et de peinture prévus ultérieurement. Sur l'ensemble du bâtiment, PSC Freyssinet (S) Pte Ltd a traité 1000 m² de poutres, de dalles de plancher et de couverture.

José ALCORTA
RESCOLL

Le composite TFC®

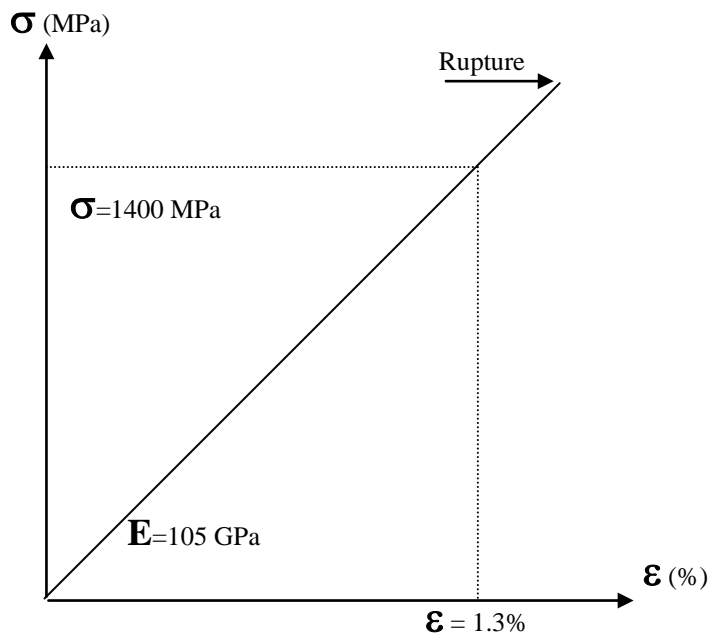
On appelle composite TFC®, l'ensemble du tissu matricé dans la résine de synthèse.

Le composite obtenu par la fabrication in situ est constitué d'environ 40% de tissu et de 60% de résine. Ces proportions peuvent varier à l'exécution dans une fourchette de plus ou moins 7% selon les conditions d'application sur le chantier (température ambiante, surface spécifique du support...).

Les caractéristiques annoncées dans le tableau ci-dessous sont les caractéristiques minimales garanties. Elles concernent le tissu imprégné qui constitue le corps du composite, donc la section effective résistante.

Epaisseur moyenne	0.43 mm
Contrainte à la rupture en traction	1400 MPa
Module E	105 GPa
Traction rupture (1 cm de largeur chaîne)	600 daN
Traction rupture (1 cm de largeur trame)	250 daN

Caractéristiques mécaniques section effective du composite



Loi du comportement du TFC®

Valeurs de contrainte et allongement garanties à la rupture