

MAITRE D'OUVRAGE  PRÉFET DE LA RÉGION NOUVELLE-AQUITAINE Liberté Égalité Fraternité Direction Régionale de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement Nouvelle-Aquitaine Cité administrative – Rue Jules Ferry 33090 BORDEAUX CEDEX		ASSISTANCE A MAITRE D'OUVRAGE  INGEROP 5, Impasse des Mûrier CS 80012 – 33692 MERIGNAC CEDEX
ARCHITECTE  architectes MOG ARCHITECTES 8, rue Esprit des Lois 33000 BORDEAUX	MAITRE D'OEUVRE  setec SETEC 42, rue du Général de Larminat 33000 BORDEAUX	ENTREPRISE  EIFFAGE GÉNIE CIVIL 3-7, Place de l'Europe CS 50570 – 78140 VELIZY-VILLACOUBLAY

Conception et Réalisation d'une passerelle modes actifs accrochée au Pont François Mitterrand

Livret 11 - Renfort par tissu carbone

58038_ALS_ACT_GEN_GEN_STD_00311 - Livret 11 - Renfort par tissu carbone

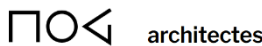
A	20/04/2025	AAS	SRI	ADE	Création du document
IND	Date	Etabli par	Vérifié par	Approuvé par	Observations / Modifications
Émetteurs : 				Diffusion :  	

Table des matières

1	Généralités	3
2	Documents de références	3
3	Matériau composite pour renforcement	3
3.1	Exigences générales	3
4	Préparation du support béton	4
4.1	Qualité et résistance du béton	4
4.2	Peau continue	5
4.3	Planéité du support	5
4.4	Courbure admissible du support	6
4.5	Préparation du support béton	6
5	Conditions climatiques et d'environnement a la mise en œuvre	7
5.1	Mise en œuvre des résines	7
5.2	Stockage des matériaux	7
5.3	Température de mise en œuvre des résines	7
5.4	Environnement et organisation d'un chantier d'application	7
5.5	Conditions de circulation a la mise en œuvre	8
6	Mise en œuvre du procédé	8
7	Qualification du personnel des entreprises applicatrices	8
8	Contrôles in situ	9
8.1	Approvisionnement des matériaux	9
8.2	Epreuve de convenance	10
8.3	Contrôles du support	11
8.4	Contrôles lors de la mise en œuvre des renforts et après polymérisation de la résine	11

1 Généralités

Ce livret concerne le renforcement des structures en béton armé, par le collage d'armatures passives, composite à base de fibres de carbone noyées dans une matrice synthétique, aussi dit « PRFC » : polymères renforcés de fibres de carbone.

Les procédés s'appliquent, à toute structure d'ouvrage neuf ou ancien pour laquelle une augmentation de la résistance est recherchée.

2 Documents de références

Les modalités relatives aux renforcements par composites collés doivent se conformer aux documents suivants :

- les « Avis Techniques » délivrés par le CSTB relatifs à différents procédés auxquels sont joints les dossiers techniques établis par les demandeurs ;
- le document AFGC « Réparation et renforcement des structures en béton au moyen des matériaux composites - Recommandations provisoires » de février 2011 ;
- le paragraphe A.4.4 « Placage et enrobage par des polymères renforcés de fibres » de l'annexe A informative de l'Eurocode 8 partie 3 de décembre 2005 « Calcul des structures pour leur résistance aux séismes – Partie 3 évaluation et renforcement des bâtiments » ;
- la norme NF EN 1505-4 « Produits et systèmes pour la protection et la réparation de structures en béton – Définitions, prescriptions, maîtrise de la qualité et évaluation de la conformité – Partie 4 : Collage structural ».
- Le guide CEREMA sur la « Conception des réparations structurales et des renforcements des ouvrages d'art » de 2015.

3 Matériau composite pour renforcement

3.1 Exigences générales

Le procédé devra impérativement faire l'objet d'un avis favorable en vigueur du CSTB.

Les procédés objet du présent dossier sont destinés à réparer et à renforcer les structures par le collage d'armatures passives souples, composite à base de fibres de carbone.

Les matériaux seront conformes aux spécifications indiquées dans les recommandations provisoires « Réparation et renforcement des structures en béton au moyen des matériaux composites- Recommandations provisoires – AFGC – février 2011 » et aux spécifications de l'avis technique du CSTB portant sur le procédé.

Exigences minimales sur les performances du procédé collé après 7 jours de durcissement :

- Module d'élasticité en traction > 75 000 MPa
- Résistance en traction > 750 MPa
- Allongement à la rupture > 1,15 %

La colle doit bénéficier d'un marquage CE suivant les dispositions de la norme NF EN 1504-4.

Les poussées au vide doivent être reprises par des dispositions constructives adéquates. À défaut, les contraintes maximales dans les renforts collés doivent être strictement limitées.

A défaut de spécifications particulières de la part du fabricant, on retiendra une température de service continue (T) respectant la relation suivante :

$$-20^{\circ}\text{C} < T < T_g - 10^{\circ}\text{C}$$

Avec T_g : température de transition vitreuse qui devra être précisée soit par les fiches techniques des fournisseurs et applicateurs précisant les conditions de cure de leur système ou à défaut de mesure de ces données, cela fera l'objet d'un contrôle sur un polymère ayant subi les mêmes conditions de cure que celle de la réparation/ du renforcement in situ.

Dans le cas de la mise en œuvre en extrados d'ouvrage, le matériau composite doit être protégé afin que l'élévation de température lors de la mise en œuvre de l'étanchéité et de l'enrobé ne porte pas atteinte aux performances de l'adhésif ou de la matrice polymère (non-dépassement de la limite en température temporaire qui dépend de la température de transition vitreuse du produit mis en œuvre).

Une protection aux rayons UV doit être appliquée sur les matériaux composites afin de prévenir un vieillissement prématuré de l'adhésif ou de la matrice polymère.

Dans le cas où des dégradations (chocs, abrasion, etc.) sont possibles, une protection mécanique du renforcement est à prévoir.

4 Préparation du support béton

4.1 Qualité et résistance du béton

Conformément à la norme NF EN 1504-10, la réalisation d'un diagnostic global de la structure, et en particulier des éléments à renforcer est essentiel. Il s'agit de déterminer notamment l'état du béton (résistance interne et

cohésion superficielle, carbonatation, présence de chlorures, ...), l'état des armatures (section et positionnement, état de corrosion).

Après préparation, la cohésion superficielle du support béton doit être mesurée en se basant sur la norme NF EN 1542 (essai in-situ de traction directe sur pastilles métalliques collées au support – appareil dynamomètre de traction type Sattéc) : valeurs mesurées $\geq 1,5$ MPa.

Les dégradations superficielles du béton seront réparées suivant la norme NF P95-101.

Les anciennes réparations et les "ragréages" défectueux (adhérence inférieure à la cohésion superficielle du béton) seront complètement éliminés et réparés suivant la norme NF P95-101.

Les arrivées d'eau avant et pendant la mise en œuvre seront éliminées.

4.2 Peau continue

L'épiderme du béton doit être continu. Les opérations suivantes doivent être effectuées :

- Assainir le béton par élimination des corps étrangers et zones ségréguées, repiquer la surface des cavités, couper les excroissances et annuler par meulage les balèbres.
- Obturer toutes les cavités à l'aide d'un mortier de réparation à base de liant hydraulique admis à la marque NF (ou mortier de résine défini dans le cahier des charges du procédé) et compatible avec le procédé.
- Effectuer un bouche-pore du support à l'aide du produit de "ragréage" compatible avec le système de réparation. Cette opération devra être effectuée après la préparation du support pour permettre l'ouverture des bulles et éviter l'effet piston.
- Traiter les fissures d'ouverture supérieures à 0,3 mm à l'aide d'un produit adapté. Les travaux s'effectuent conformément à la norme NF P95-103.
- Les arêtes vives doivent être abattues, arrondies, jusqu'à un rayon d'au moins 20 mm.

Lors des différentes opérations de renforcement, on veillera à ne pas faire travailler le composite en compression au droit d'une fissure qui n'aurait pas été traitée pour restituer le monolithisme de l'ouvrage.

4.3 Planéité du support

La surface du béton qui reçoit le renfort doit présenter au minimum les tolérances de formes d'un parement simple définies au fascicule 65 du CCTG et livret E06 Parement et coffrages du CCTP, soit une planéité globale mesurée avec une règle de 2 m - 8 mm et la planéité locale mesurée avec un réglet de 20 cm - 3 mm.

Les reprises de planéité seront exécutées à l'aide de :

- mortier de réparation à base de liant hydraulique admis à la marque NF EN 1504,

- pâte époxydique ou mortier de résine compatible avec l'adhésif.
- Les produits de reprofilage devront être parfaitement adhérents au support (au moins égale à la cohésion superficielle du béton) et avoir un module d'élasticité supérieur ou égal à celui du béton.
- La surface ragrée devra être inférieure à 20 % de la surface collée. Dans le cas de dépassement de cette valeur, l'entrepreneur doit en informer le maître d'œuvre pour définir la conduite à tenir.

Si les conditions de « parement simple » ne sont pas respectées des justificatifs sont à fournir (poussée au vide...).

4.4 Courbure admissible du support

Chaque procédé définit, dans son cahier des charges, les rayons de courbure admissible.

4.5 Préparation du support béton

Le support béton fera obligatoirement l'objet d'une préparation de surface de manière à optimiser les forces de liaison adhésif/béton.

Cette préparation ne doit pas affaiblir la surface du béton mais a pour but :

- De créer une rugosité de surface et éliminant la couche superficielle
- d'éliminer toute trace d'huile, de graisse, de laitance, de revêtements ou imprégnations existants, de produit de décoffrage, autres particules et salissures limitant l'adhérence de la colle époxy
- de mettre en évidence d'éventuelles zones fissurées et/ou ségréguées, des cavités ou des armatures apparentes corrodées

Parmi les techniques utilisables, on peut recommander :

- sablage, grenailage
- ponçage au disque diamanté suivi d'une aspiration.
- sablage humide et hydro-décapage (suivi d'un temps de séchage du support)

Les techniques qui créent des microfissurations dans le béton seront proscrites (bouchardage, burinage, décapage thermique, etc...).

La cohésion superficielle du béton après préparation devra être supérieure ou égale à celle minimum prise en compte dans la note de dimensionnement.

5 Conditions climatiques et d'environnement a la mise en œuvre

5.1 Mise en œuvre des résines

Elle n'est permise que dans les conditions climatiques suivantes :

- temps calme,
- le poste de collage doit être à l'abri de la pluie et de toute arrivée d'eau,
- température minimale du support + 5° C,
- température du support doit être supérieure de + 3° C à celle du point de rosée, en mesurant simultanément la température ambiante, le taux d'humidité et la température du support.
- au-dessus de 80 % d'humidité relative, la fréquence des contrôles de condensation doit être augmentée.

Plage de températures (support et ambiance) recommandée : entre +8°C et +35°C.

Les conditions atmosphériques seront mesurées en continue, sur site, via un appareil de mesure type Elcometer 319 ou Testo 625.

5.2 Stockage des matériaux

Les matériaux (résines et fibres) doivent être stockés dans un abri chauffé ou ventilé pour être conservés aux températures optimales données dans la fiche technique du procédé.

5.3 Température de mise en œuvre des résines

Elles doivent rester dans l'intervalle donné dans la fiche technique du procédé pour permettre :

- une mise en œuvre à la viscosité recommandée par le fabricant,
- d'avoir une DPU (Durée Pratique d'Utilisation) suffisante pour effectuer correctement les opérations nécessaires à la bonne pose du renfort (marouflage, enduit),
- une polymérisation correcte et une bonne adhérence,
- le non-dépassement de la température maximale recommandée par le fabricant.

5.4 Environnement et organisation d'un chantier d'application

Le phasage (préparation du support-collage) doit être organisé pour que la poussière dégagée par la préparation du support ne vienne pas dans le poste de collage.

D'autres corps d'état ne doivent pas intervenir s'ils risquent d'envoyer des contaminants dans la zone de collage.

5.5 Conditions de circulation a la mise en œuvre

A priori l'ensemble des recommandations considère une intervention de renforcement ou de réparation à vide ou sans circulation.

La mise en œuvre des composites sous circulation devra faire l'objet de justifications complémentaires précisant l'absence d'influence sur le mode de durcissement et de maturation des polymères, le niveau de déformation imposé ou composite, la conservation des propriétés mécanique de l'interface.

6 Mise en œuvre du procédé

La préparation du support étant déjà réalisée et réceptionnée, les différentes étapes du procédé mis en œuvre sont décrites par l'applicateur du procédé sous avis technique dans les moindres détails.

Les procédures internes correspondantes sont systématiquement fournies pour chaque chantier.

Les points d'arrêt sont également précisés.

Cependant, des éléments complémentaires sont demandés, à savoir :

- l'esthétique : validation du RAL de la protection anti-UV par l'architecte
- la protection mécanique adhérente (*pour mémoire – non applicable*)
- la protection au feu (*pour mémoire – non applicable*)
- la protection contre les chocs et l'abrasion (*pour mémoire – non applicable*)
- la finition et les revêtements associés

Des références ainsi que des procès-verbaux d'essais peuvent valider ces informations.

7 Qualification du personnel des entreprises applicatrices

Le renforcement de structures à l'aide de matériaux composites est effectué sous la direction d'un responsable spécialement qualifié, dit C.A.R.C. (Chargé d'Application de Renforcements Composites) dont la compétence est reconnue par l'entreprise applicatrice du procédé utilisé ; il en est justifié auprès du maître d'œuvre (consistance minimale et détails de la mission du C.A.R.C.).

L'entreprise retenue pour la réalisation des travaux de réparation et de renforcement des structures doit être expérimentée, assurée pour la réalisation de ces travaux spéciaux. Le personnel doit être spécialement formé à l'application des composites PRFC et des produits associés.

Le plan d'assurance qualité (PAQ) du chantier de renforcement comporte dans son article consacré à l'organisation du chantier :

- la mention de l'origine et des références du personnel responsable des opérations de renforcement à l'aide de matériaux composites,
- la désignation du "chargé d'application de renforcements composites" C.A.R.C.
- L'attestation de formation du personnel intervenant à l'application des tissus composites et produits associés retenus.

Les compétences du C.A.R.C. permettent au moins :

- le contrôle préalable du support et sa préparation,
- l'exécution dans le respect des prescriptions du procédé.

8 Contrôles in situ

8.1 Approvisionnement des matériaux

A partir d'un référentiel donné l'achat et le contrôle de réception des différents matériaux de base du composite prêt à mettre en œuvre sont régies selon les règles ci-après.

Les produits feront l'objet du marquage CE en conformité avec la norme Européenne EN 1504.

Bon de livraison

Le bon de livraison doit comprendre au minimum les renseignements suivants :

- Nom et adresse de livraison
- Nom et adresse de l'ouvrage et la partie de l'ouvrage à renforcer
- Numéro de bon de commande
- Dates de commande et de livraison
- Conséquences entraînées par un retard de livraison ou une non-conformité des matériaux
- Dénomination et nature exacte, conditionnement et quantité du renforcement commandé (longueur, largeur, épaisseur, poids d'un rouleau et nombre de rouleaux)

- Dénomination et nature exacte, conditionnement et quantité des résines commandées (nombre de composants et poids d'un ensemble ; nombre d'ensembles)
- Accusé de réception de commande
- Demande des certificats de conformité
- Identification
- Traçabilité

Il y sera joint les certificats de conformité (engagement).

Contrôles

Les points de contrôle à réaliser sont les suivants :

- Conformité des indications entre le bon de commande, le bon de livraison ou de sortie magasin et les étiquetages en identité, quantité et numéros de lot,
- Etat du renfort par contrôle visuel,
- Date de péremption des résines,
- Etat des bidons de résine avant utilisation.

L'ensemble de ces contrôles fera l'objet d'une formalisation écrite.

Non-conformité et action corrective

En cas de non-conformité, les matériaux ne sont en aucun cas utilisés.

8.2 Epreuve de convenance

Avant tout début des travaux de collage des tissus, il sera procédé sur site à une épreuve de convenance comportant :

- Le nettoyage et la préparation des surfaces,
- des essais de cohésion superficielle,
- un encollage de bandes sacrificielles en vue d'essais de traction sur tissu durci
- contrôle de l'application des produits,
- Essai de dureté shore D de la résine à 48 heures et à 7 jours

Les résultats de ces épreuves sont présentés à l'acceptation du Maître d'Œuvre.

8.3 Contrôles du support

Réception de l'état du support avant collage

Il doit être procédé à un constat contradictoire de l'état du support entre les parties concernées de façon à :

- Vérifier la conformité au présent document,
- Vérifier la compatibilité du procédé de renfort retenu avec le support ainsi que les hypothèses de calcul prises en compte.
- Il est vérifié que les dispositions et exigences définies au chapitre de préparation du support sont bien respectées

Accessibilité du support

Il faut vérifier que le support est facilement accessible pour exécuter correctement les opérations de préparation du support et la mise en place du renfort. Il faut contrôler l'absence d'obstacle le long du renfort et notamment à ses extrémités.

Contrôle de la température et hygrométrie

Un relevé de la température et de l'hygrométrie doit être réalisé (quotidiennement) pendant toute la durée de la mise en œuvre du renforcement de l'ouvrage.

L'ensemble de ces vérifications permettront de réceptionner le support et autoriser le collage des tissus.

Cette réception fera l'objet d'un point d'arrêt.

8.4 Contrôles lors de la mise en œuvre des renforts et après polymérisation de la résine

Contrôle des produits

On note les numéros des produits livrés pour le renforcement.

Contrôles effectués sur les composants et mélange

L'adaptation des quantités de résines à mélanger en fonction de la mise en œuvre et des conditions climatiques est précisée dans le système qualité de l'Entreprise.

A cet effet, un essai de convenance est effectué pour vérifier entre autres que le conditionnement des résines est adapté au chantier.

Après l'ouverture des conditionnements il convient de vérifier que la coloration des composants est celle décrite par le fabricant.

En fin de mélange des composants, préalablement stockés selon les recommandations du fabricant, on vérifie l'homogénéité par l'absence de marbrures.

Un prélèvement conservatoire de résine d'une épaisseur d'au moins 3 mm est réalisé pour vérifier l'évolution de la dureté shore D à 48 heures et à 7 jours.

Contrôles lors de la mise en œuvre d'un plat carbone

(Pour mémoire, non applicable)

Préalablement à l'encollage du plat il convient de vérifier que le marquage de ce dernier sera visible après application.

Le double encollage permet le maintien du plat dès son application.

Lors du marouflage à la roulette, un cordon continu de résine doit apparaître de part et d'autre du plat.

Contrôle de la mise en œuvre d'un tissu imprégné sur site

L'épaisseur de la couche d'encollage sur le support sera contrôlée à l'aide d'un peigne d'épaisseur (possibilité aussi de faire le rapprochement entre la quantité de résine utilisée et la surface couverte). Selon le procédé, il est vérifié la face à coller.

Lors du marouflage au rouleau débulleur, il est fait un contrôle visuel du bon ressuage de la résine au travers et sur les côtés de la bande de tissu.

Il est fait un contrôle visuel de la bonne imprégnation du tissu (brillance à contrejour par exemple)

Contrôle de la mise en œuvre d'un tissu sec

L'épaisseur de la couche d'encollage déposée sur le support peut être contrôlée au moyen d'une jauge d'épaisseur pour produit visqueux.

Il est vérifié le sens de pose du tissu.

Après marouflage au rouleau sec, la résine doit ressuer légèrement au travers du tissu (état poisseux).

La couche de fermeture écrasée à la spatule lisse doit avoir un aspect uniforme.

Dans les conditions limites d'application, un échantillon réalisé sur une plaque démoulante peut être conservé dans les conditions du site pour vérifier les caractéristiques du composite après durcissement (éprouvettes de contrôle).

Contrôle après exécution du renfort

La dureté shore D de la résine à 48 heures et à 7 jours sera mesurée pour juger de l'étude de réticulation du système mis en place.

Un contrôle par caméra infrarouge sera effectué pour de vérifier la bonne imprégnation de la totalité du tissu.

Un contrôle sonique sera ensuite effectué, notamment dans les zones de doutes repérées par le contrôle infrarouge, par de légers tapotements au moyen d'un maillet en bois ou en plastique. Les zones sonnant creux seront repérées par cerclage au crayon indélébile.

Indicateur de présence

Il est vérifié l'existence d'un indicateur signalant la présence d'un renfort. *(Pour mémoire, non applicable)*

La conformité de l'intégralité des points précédents permettra, après remise au MOE des fiches de contrôle intérieur renseignées, de lever le point d'arrêt de réception des travaux.