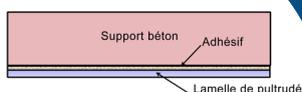


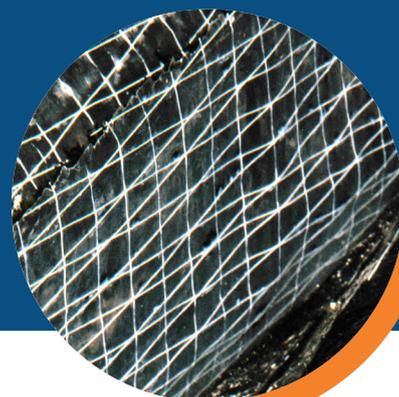
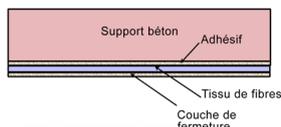
Réparation et renforcement de structures

par matériaux composites

Renforcement par lamelles collées



Renforcement par tissu de fibres collé



Présentation

Dans les années 60, le Professeur L'HERMITE procéda avec succès à des essais sur des poutrelles en béton non armé sur lesquelles étaient collées des plaques en acier ; les unes sur la face tendue pour la reprise des tractions dues à la flexion et les autres sur les faces latérales pour la reprise des cisaillements développés par l'effort tranchant.

Dès le début des années 90, les matériaux composites collés ont rapidement remplacé les tôles minces acier collées.

Malgré un prix de fourniture beaucoup plus élevé, l'utilisation de ces nouveaux matériaux a été favorisée par leur plus grande facilité de mise en œuvre.

Actuellement, les matériaux composites collés ont complètement supplanté les tôles collées.

Les matériaux composites sont utilisés pour :

- le renforcement de structures en bon état qui présentent une insuffisance :
- de capacité portante vis-à-vis de nouvelles charges lors d'un changement d'affectation ou de modifications de la structure,
- d'adaptations aux « normes actuelles » ;
- le renforcement suite à des insuffisances liées aux règles de calculs utilisées à l'époque de la conception ;
- les réparations structurales en complément de la réparation des désordres affectant les matériaux béton et armatures.

Recommandations

Modes opératoires

Les procédés de réparation ou de renforcement utilisent des fibres (de verre, de carbone ou d'aramide comme le Kevlar™) enrobées dans une matrice de polymères.

⇒ Ces produits se présentent sous deux formes

- des plaques, des bandes ou des lamelles (sheets, strips or plates) rigides désignés par le terme pultrudés ;
- des tissus unidirectionnels ou bidirectionnels qui sont, soit imprégnés de résine au moment de la pose (tissus secs), soit pré-imprégnés en usine, soit pré-imprégnés sur le chantier juste avant la pose (tissus humides).

À chaque produit doit être associé, soit un produit de collage entre la surface du béton et le renfort, soit un produit de collage et d'imprégnation.

Les bases et principes de dimensionnement d'une réparation ou d'un renforcement par des matériaux composites sont définies dans le guide FABEM 7 - chapitre 5.2.2.

Les différents procédés font l'objet d'un avis technique du CSTB.

⇒ Choix des matériaux

Le type de matériau composite (plaque ou tissu) et la nature des fibres (verre, carbone) à utiliser vont dépendre au moins des six facteurs suivants :

- les exigences du bureau d'études qui est chargé de dimensionner la réparation ou le renforcement. Ces exigences portent principalement sur la résistance (contrainte de rupture) et la déformabilité (module d'élasticité) du composite ;
- les exigences relatives à la mise en œuvre, qui portent sur les conditions thermiques lors de l'encollage, la durée pratique d'utilisation de la colle (DPU) ;
- les exigences sur la géométrie de la pièce (planéité, rayons de courbure) ;
- les exigences de durabilité de la réparation et/ou du renforcement, qui portent sur les conditions d'environnement (en particulier thermiques) auxquelles peut être soumis le composite pendant la vie de l'ouvrage ;
- les conditions de surveillance et d'entretien ;
- la prise en compte de la fatigue.

Recommandations

➔ Pour le composite, il faut connaître

- la nature de la fibre (carbone, verre...);
- le type de produit (pultrudé, tissus sec, tissu pré-imprégné);
- la disposition des fibres et leur section (unidirectionnelle, bidirectionnelle, multidirectionnelle);
- le nombre maximal de couches;
- le rayon de courbure limite (minimal);
- les caractéristiques mécaniques du produit (contrainte de rupture, module d'élasticité, allongement à rupture...) qui sont nécessaires pour les calculs.

Les produits sont choisis en fonction de leur aptitude à l'application sur des surfaces verticales et des sous-solles, à l'utilisation dans des conditions ambiantes particulières (températures basses ou élevées, support humide...) ainsi qu'à leurs capacités d'adhérence plaque sur plaque et plaque sur béton. Les contraintes de cisaillement à l'interface devront être vérifiées par le calcul, notamment pour les lamelles.

➔ Préparation du support (FABEM 7 - chapitres 5.5.2 et 5.5.3)

La surface du béton doit présenter une cohésion superficielle au moins égale à 1,5 MPa, mesurée par un essai d'arrachement.

Le support béton doit être exempt de défaut de surface et de salissures.

Les fissures doivent être injectées.

Les corps étrangers doivent être éliminés.

Les trous et divers défauts de surfaces doivent être rebouchés avec un matériau structurant permettant de respecter les contraintes de cohésion de 1.5 Mpa.

Les produits de cure et divers revêtements anciens, la laitance, les traces de graisse, la végétation doivent être éliminés.

Le parement doit être nettoyé de toutes poussières par brossage, lavage et aspiration.

Le parement béton doit être sec et conforme à la fiche technique du produit de collage.

Le parement doit respecter certaines contraintes géométriques (FABEM 7 - chapitre 5.5.3) : planéité, courbure de pièces selon le procédé utilisé, rayons limites, suppression des angles vifs, zone de poussée au vide.

Divers procédés adaptatifs doivent permettre d'assurer un traitement continu de l'ouvrage dans les points particuliers (renforts localisés, points d'ancrage...). Les angles saillants ou rentrants seront traités selon le système de renforcement par des équerres en composite ou des mèches d'ancrage qui permettront de fixer ou d'ancrer des renforts en tissus sollicités par des efforts déviés (FABEM 7 - chapitre 5.4.7).

➔ Le relevé des défauts du support béton

Après les travaux de réparation et/ou renforcement préalables, le marché impose sur le chantier un nouveau relevé contradictoire de l'état du support.

Ce relevé comporte le sondage au marteau des surfaces pour détecter les parties décollées, le positionnement des balèvres, des mesures à la règle et au réglet de la géométrie des pièces, la réalisation de mesures de la cohésion de la surface du béton et des ragréages.

➔ Préparation du matériau composite

Les plans d'exécution doivent être basés sur un relevé de la géométrie de la structure à renforcer.

Les zones de collage sont implantées sur le support béton.

Dans le cas de plaques, les plans donnent la longueur des différentes plaques, le trait de coupe est tracé et le milieu de la plaque est repéré. Ensuite, la plaque est découpée avec une scie à fine denture ou un disque diamanté.

Pour les tissus, les plans donnent les dimensions et le nombre des couches à appliquer.

Les différents lés sont découpés au ciseau ou au cutter en tenant compte du sens des fibres de chaîne et de trame.

➔ Préparation de l'adhésif

L'adhésif comporte deux composants (une base et un durcisseur) dont les pots doivent être entièrement vidés de leur contenu. La vitesse de rotation du malaxeur et la forme de l'hélice doivent être adaptées pour permettre un mélange homogène et éviter l'inclusion d'air.

Recommandations

⇒ Mise en place (FABEM 7 - chapitre 5.9)

Les matériaux composites, compte tenu de la technicité nécessaire pour leur pose, doivent être mis en œuvre, soit directement par l'entreprise détentrice du système, soit par des entreprises autorisées par celle-ci. Il est souhaitable que le personnel ait suivi une formation pour cette activité qui nécessite précision, méthode, rigueur et propreté. Une qualification CARC (Chargé d'application des renforts composites), en projet, pourrait valider cette compétence.

Les études d'exécution d'une réparation et/ou d'un renforcement en matériaux composites collés comprennent la mise au point d'une procédure qui doit respecter à la lettre les dispositions de la fiche technique du fabricant. Cette procédure est complétée par des plans qui donnent la façon dont le tissu ou les lamelles doivent être découpées et assemblées.

L'encollage doit se dérouler à l'abri de la pluie, des ruissellements et de la condensation.

Les fiches techniques des systèmes définissent les conditions limites d'utilisation (températures limites, taux d'humidité atmosphérique, humidité du support.)

Les plats (pultrudés) sont mis en œuvre avec un double encollage qui concerne le support et la plaque.

L'excédent de colle est expulsé latéralement par un marouflage. Les épaisseurs de résine doivent être limitées aux croisements des plats.

Les tissus sont posés sur le support béton qui a reçu un simple encollage. Ensuite, le marouflage permet de faire passer le polymère au travers du tissu pour constituer la matrice.

Puis, si nécessaire, le renforcement peut recevoir un revêtement de protection (par exemple, contre les rayonnements UV) ou de finition à caractère esthétique (par exemple une peinture).

Points importants

⇒ Contrôles avant travaux

Le béton des ouvrages à renforcer ne doit pas avoir de réactions de gonflement dus à l'alcali-réaction, à une réaction sulfatique interne, à des mauvaises résistances au gel ou à une corrosion active des armatures non traitées.

L'étanchéité doit être en bon état, le projet doit s'assurer que le matériau composite collé ne constitue pas des zones de rétention d'eau. En effet, le matériau composite constitue un film étanche à la surface de la pièce à réparer ou à renforcer. Si de l'eau peut s'infiltrer dans le béton, faute, par exemple, d'une chape d'étanchéité efficace et si cette eau ne peut s'évacuer, elle provoquera des désordres dans le béton de la pièce (effets du gel/dégel, corrosion des armatures).

⇒ Prise en compte de l'environnement sur la durabilité de la réparation

Les produits sont sensibles au rayonnement ultra-violet. Ils doivent donc être protégés par un revêtement adapté et faire l'objet d'une surveillance particulière pour détecter les pertes de qualité qu'ils peuvent subir.

Voir les avis techniques correspondants.

La zone renforcée ne doit pas être exposée à des températures élevées.

Les systèmes (produits d'imprégnation, produit de collage et tissu ou plaque) sont à base de produits organiques qui perdent leurs caractéristiques sous l'action de températures trop élevées. Ce risque est évident en cas d'incendie mais peut aussi concerner des renforts disposés à l'extrados d'un pont lors de la mise en place d'une chape d'étanchéité ou des enrobés à chaud des couches de chaussée...

Dans certains cas de renforcement, un calcul de vérification au feu peut être nécessaire.

Recommandations

Points importants

Bureau d'étude

Comme pour le choix de l'entreprise, le bureau d'étude qui dimensionne doit maîtriser parfaitement les particularités de ces techniques de confortement.

Rappel : les recommandations provisoires de l'AFGC indiquent que les connaissances actuelles sur le comportement à long terme de ces matériaux sous les environnements sévères des ouvrages de génie civil, sur leur comportement en fatigue ou sous des sollicitations

extrêmes (chocs, séismes...), sur les mécanismes locaux au droit de fissures actives... sont insuffisantes et que des recherches restent à effectuer. Il est donc nécessaire d'être prudent lors de l'étude d'un projet de réparation ou de renforcement si l'on sort des limites actuellement maîtrisées.

Lorsque cela est possible, il convient de décharger l'ouvrage avant les travaux de renforcement pour permettre au dispositif d'être sollicité dès la remise en charge.

Normes

De nombreuses études sur les propriétés de ces matériaux composites ont été effectuées et des règles de calcul et de mise en œuvre ont été établies par différents pays.

En France, ont été élaborées : les recommandations provisoires de l'AFGC de 2003, 2007 et 2011, des avis techniques par le CSTB,

les normes NF EN 1504-9 et NF EN 1504-10 qui visent les renforcements par plaques collées, la norme NF EN 1504-4 qui traite des produits et systèmes de collage structural.

Proposition de plan de contrôle

Phases	Points de contrôle	Moyens de contrôle
Préparation	Contrôle de l'état du support béton cohésion superficielle en cohérence avec l'avis technique	Essai d'arrachement par traction directe NF EN 1542
Préparation	Absence de fissures non traitées	Contrôle visuel et sonique
Préparation	Contrôle de l'état du support béton état de propreté - Absence de produits pouvant nuire à l'adhérence en cohérence avec l'avis technique	Contrôle visuel
Préparation	Défaut de planéité en cohérence avec l'avis technique	Relevé à la règle de 2 m
Travaux	Contrôle des produits	Conformité bons de livraison fiches techniques du procédé
Travaux	Contrôle produits plaques et tissus	Fiche produit conforme à l'avis technique
Travaux	Température du support et de l'air	Thermomètre de surface
Travaux	Teneur en eau du support	Visuel ou avec sonde d'humidité
Travaux	Préparation du produit de collage - Dosage des composants	Utilisation complète et simultanée de chaque conditionnement Contrôle de la vitesse et du temps de mélange
Travaux	Caractéristique physiques de l'adhésif	Test d'étalement - DPU - Dureté shore - Essai d'arrachement
Travaux	Absence de plis sur les tissus	Visuel
Travaux	Pour les tissus, contrôle des sens de pose (trame-chaîne)	Visuel
Réception	Contrôle de l'absence de décollement du matériau composite	Sondage au marteau - Ultra son - Impact-écho - Caméra thermique