

# Avis Technique 3/16-875

Annule et remplace l'Avis Technique 3/10-669

*Eléments de structure renforcés par collage de matériaux composites*  
*Repair and Strengthening of structural elements of constructions with fiber reinforced polymers (FRP)*

## Sika CarboDur SikaWrap

Titulaire : SIKA France  
84, rue Edouard Vaillant  
FR 93350 LE BOURGET

### Groupe Spécialisé n° 3.3

Structures Tridimensionnelles, ouvrages de fondation et d'infrastructure

Publié le 4 octobre 2016



Commission chargée de formuler des Avis Techniques et Documents Techniques d'Application

(arrêté du 21 mars 2012)

Secrétariat de la commission des Avis Techniques  
CSTB, 84 avenue Jean Jaurès, Champs sur Marne, FR-77447 Marne la Vallée Cedex 2  
Tél. : 01 64 68 82 82 - Internet : [www.ccfat.fr](http://www.ccfat.fr)

**Le Groupe Spécialisé n° 3.3 « Structures tridimensionnelles, ouvrages de fondation et d'infrastructure » de la Commission chargée de formuler les Avis Techniques et Documents Techniques d'Application, a examiné le 14 Juin 2016 le procédé de renforcement collé SIKA CARBODUR et SIKAWRAP, exploité par la société SIKA. Il a formulé, sur ce procédé l'Avis Technique ci-après, qui annule et remplace l'Avis Technique n°3/10-669. Cet Avis a été formulé pour les utilisations en France européenne, y compris les Départements et Régions d'outre-mer et les Collectivités d'outre-mer.**

## 1. Définition succincte

### 1.1 Description succincte

Procédé de renforcement d'éléments de structure, consistant à coller sur la surface des éléments visés un tissu ou des lamelles de fibres de carbone à l'aide d'une résine époxydique synthétique à deux composants.

Ce procédé est destiné à augmenter la capacité portante des éléments concernés, par fonctionnement mécanique conjoint élément-renfort, grâce à l'adhérence conférée par la résine après son durcissement, entre les deux matériaux.

### 1.2 Identification des composants

Les composants sont livrés sur le site de mise en œuvre et identifiés de la manière suivante :

- Lamelle Sika CarboDur : présentation en rouleaux de 10,25, 50 ou 250 mètres. Les lamelles sont identifiées par un numéro de lot, imprimé à intervalles réguliers sur la face opposée à celle utilisée pour le collage,
- Sikadur-30 : en kits de 6 kg. Chaque kit est identifié par un numéro de lot imprimé sur l'étiquette.
- SikaWrap-230 C : présentation en rouleau de largeur 300 ou 600mm et de longueur 50m. Chaque rouleau est identifié par un numéro de lot imprimé sur l'emballage.
- Sikadur-330 : livré en kit de 5 kg. Chaque kit est identifié par un numéro de lot imprimé sur l'étiquette.
- SikaWrap-600C : présentation en rouleau de largeur 300mm et de longueur 50m. Chaque rouleau est identifié par un numéro de lot imprimé sur l'emballage.
- Sikadur-300 : livré en kit de 3.5 kg. Chaque kit est identifié par un numéro de lot imprimé sur l'étiquette.

## 2. AVIS

L'Avis qui est émis prend en compte le fait que ni la conception ni le dimensionnement du renforcement ne sont effectués par ou sous la responsabilité de SIKA.

### 2.1 Domaine d'emploi accepté

Le domaine d'emploi accepté par le Groupe Spécialisé n°3 est celui couvrant les éléments entrant dans la constitution des bâtiments courants (habitations, bureaux, etc.) et des bâtiments industriels (supermarchés, entrepôts, etc.) Les éléments renforcés par le procédé sont en béton (armé ou précontraint).

Le renforcement à l'effort tranchant des sections autres que rectangulaires ou trapézoïdales n'est pas visé par le présent Avis Technique.

Le procédé peut être utilisé uniquement sur les bâtiments dont le dimensionnement est réalisé suivant le BAEL 91 modifié 99.

Les utilisations pour lesquelles l'article 3 de l'arrêté du 22 octobre 2010 modifié impose l'application des règles parasismiques et le cas des sollicitations susceptibles de changer de sens ne sont pas visées dans le cadre du présent Avis Technique.

Les éléments concernés sont sollicités par des charges à caractère principalement statique, comme c'est le cas dans les bâtiments administratifs, commerciaux, scolaires, hospitaliers, d'habitation, de bureaux, parkings pour véhicules légers (30 kN de charge maximale à l'essieu).

L'utilisation de ce procédé est limitée au renforcement des structures vis-à-vis des actions rapidement variables.

L'utilisation en bâtiments industriels est admise tant que l'agressivité chimique ambiante peut être considérée comme normale et que les charges non statiques ne sont pas de nature répétitive entretenue pouvant donner lieu à fatigue. On peut citer, à titre d'exemple de charges exclues, les machines tournantes et les passages intensifs et répétés de camions.

L'utilisation des procédés pour le renforcement des dallages n'est pas visée dans le cadre du présent Avis Technique.

Les utilisations autres que celles prévues au présent domaine d'emploi, notamment les renforcements d'éléments constitués de matériaux autres que le béton (maçonnerie ou bois) sortent du champ du présent Avis.

L'Avis n'est valable que si la température du milieu ambiant, de la résine et du support au niveau du collage n'excède pas :

- 45°C en pointe et 35°C en continu pour les lamelles Sika CarboDur (Résine Sikadur 30) et les tissus SikaWrap 230C (Résine Sikadur 330)
- 41°C en pointe et 32°C en continu pour les tissus SikaWrap 600C (Résine Sikadur 300)

Le paragraphe 2.3 du présent Avis précise les conditions dans lesquels le renforcement par le procédé SIKA peut être envisagé.

L'Avis est émis pour les utilisations en France européenne (Métropole+Corse) et dans les DROM-COM.

### 2.2 Appréciation sur le procédé

#### 2.2.1 Satisfaction aux lois et règlements en vigueur et autres qualités d'aptitude à l'emploi

##### 2.2.1.1 Stabilité

L'utilisation du procédé conduit à l'augmentation des capacités résistantes des éléments renforcés, conformément aux modèles de calcul développés dans le Dossier Technique établi par le demandeur, à condition de respecter strictement les prescriptions données dans le paragraphe 2.3 du présent Avis.

##### 2.2.1.2 Sécurité en cas d'incendie

###### 2.2.1.2.1 Réaction au feu

En l'absence de Procès-Verbal de réaction au feu, les procédés sont non classés ou F au sens des Euroclasses.

###### 2.2.1.2.2 Résistance au feu

En ce qui concerne la résistance au feu, le procédé SIKA non protégé ne participe pas à la tenue des éléments renforcés.

Lorsqu'une protection au feu est prévue par-dessus le composite, elle devra justifier d'un essai de résistance au feu, effectué sur un support identique, par un Laboratoire agréé par le Ministère de l'Intérieur. L'attention est attirée sur le fait que les caractéristiques mécaniques de la colle diminuent rapidement lorsque la température augmente.

##### 2.2.1.3 Prévention des accidents lors de la mise en œuvre ou de l'entretien

Pour la manipulation de la colle et son application, il y a lieu de respecter les prescriptions du Code du travail concernant les mesures de protection relatives à l'utilisation des produits contenant des solvants, utilisés pour le nettoyage des outils, l'utilisation de colles époxy et la manipulation des lamelles. En dehors de ces points, les conditions de mise en œuvre ne sont pas de nature à créer d'autre risque spécifique.

##### 2.2.1.4 Données environnementales

Le procédé ne dispose d'aucune Déclaration Environnementale (DE) et ne peut donc revendiquer aucune performance environnementale particulière. Il est rappelé que les DE n'entrent pas dans le champ d'examen d'aptitude à l'emploi du procédé.

##### 2.2.1.5 Aspects sanitaires

Le présent Avis est formulé au regard de l'engagement écrit du titulaire de respecter la réglementation et notamment l'ensemble des obligations réglementaires relatives aux produits pouvant contenir des substances dangereuses pour leur fabrication, leur intégration dans les ouvrages du domaine d'emploi accepté et l'exploitation de ceux-ci. Le contrôle des informations et déclarations délivrées en application des réglementations en vigueur n'entre pas dans le champ du présent Avis. Le titulaire du présent

Avis conserve l'entière responsabilité de ces informations et déclarations.

## 2.22 Durabilité – entretien

La durabilité des éléments renforcés est normalement assurée, à l'exception des utilisations dans les locaux (ou ambiances) suivants:

1. atmosphère agressive (type solvant)
  2. lorsque la température est susceptible de dépasser la température de pointe indiquée au paragraphe 2.1 (valeur de pointe : valeur dont la durée de maintien est inférieure à 24 heures) pour la résine utilisée.
- En effet, pour la première restriction, la stabilité des caractéristiques mécaniques de la colle n'est pas démontrée. Pour la seconde restriction, la température de transition vitreuse des résines ne permet pas de dépasser une température en pointe de 45°C pour les résines Sikadur 30 et Sikadur 330 et de 41°C pour la résine Sikadur 300
  - Dans le cas où des dégradations (chocs, abrasion, etc.) sont possibles, une protection mécanique du renforcement est à prévoir.

## 2.23 Fabrication et contrôles

Les éléments entrant dans la constitution du procédé sont fabriqués par la société suisse SIKA SCHWEIZ AG, sise à Zürich (Suisse).

La fabrication du tissu, des lamelles, ainsi que celle de la colle, font l'objet d'un plan d'assurance-qualité dans l'usine concernée.

## 2.24 Finitions

Lorsque des revêtements (notamment peintures) sont prévus sur le renforcement, ils doivent avoir fait l'objet d'essais préalables validant leur adhérence sur la matrice époxydique des composites.

## 2.3 Prescriptions techniques

### 2.31 Conditions de conception et de calcul

Le dimensionnement du renforcement doit être réalisé par un bureau d'études de structure.

#### 2.311 Justification à la rupture

Cette justification doit être réalisée en prenant en compte la hauteur totale de la section de l'élément à renforcer (ex : pour une poutre en T, il convient de considérer la hauteur totale de la section avec la table de compression). Elle consiste en une vérification de l'élément à la rupture, toutes redistributions effectuées, et sans tenir compte du renforcement, sous la combinaison ELS rare (considérée conventionnellement dans les calculs comme combinaison ELU fondamentale)  $G+Q1+\sum_{\psi_{0i}}Q_i$ , où G représente la sollicitation due à la charge permanente et  $\sum_{\psi_{0i}}Q_i$  celle due aux charges de courte durée d'application dites d'accompagnement de l'action de base  $Q_1$ , y compris s'il y a lieu les charges climatiques et celles dues aux instabilités.

Toutefois, cette justification n'est pas à effectuer si :

- $(R_1) \geq 0,63 (S_2)$ , dans le cas d'un élément principal, dont la rupture est susceptible d'entraîner celle d'autres éléments (poutre porteuse, par exemple),
- $(R_1) \geq 0,50 (S_2)$ , dans le cas d'un élément secondaire, dont la rupture n'est pas susceptible d'entraîner celle d'autres éléments (panneaux de dalles de planchers posés sur poutres, par exemple).

Avec, dans ces expressions :

R1 : capacité résistante à l'ELU, en situation fondamentale, de l'élément non renforcé.

S2 : sollicitation agissante à l'ELU, en situation fondamentale, sur l'élément renforcé.

#### 2.312 Renforcement des éléments en béton armé vis-à-vis du moment de flexion

En l'absence d'utilisation des mèches avec ancrage total dans la table vis-à-vis du renforcement à l'effort tranchant, les vérifications vis-à-vis du moment de flexion doivent être effectuées sur la section réduite de la poutre à renforcer (sans prise en compte de la table de compression des sections en T).

Le dimensionnement à la flexion du procédé de renforcement SIKA CARBODUR et SIKAWRAP est effectué selon les règles BAEL 91 rev 99 (Recommandations de l'AFGC de 2003 révisées 2007).

Les justifications à effectuer, vis-à-vis du moment de flexion, pour les éléments en béton renforcés par les lamelles Sika CarboDur, sont les suivantes :

Calcul à l'ELS : ce calcul est effectué selon les hypothèses classiques du béton armé, en tenant compte de l'historique du chargement et du renforcement (y compris un éventuel déchargement ou

vérinage provisoire en cours de travaux). Ceci conduit à superposer les états de contraintes relatifs aux deux situations suivantes :

- ouvrage non renforcé, soumis aux sollicitations initiales, appliquées au moment où l'on entame les travaux de renforcement,
- ouvrage renforcé, soumis aux sollicitations additionnelles.

Cette justification est menée en prenant en compte un coefficient de sécurité de 2,15 sur la contrainte à rupture des lamelles Sika CarboDur, et en limitant la contrainte finale dans les armatures tendues existantes tel que décrit dans le Dossier Technique établi par le demandeur au paragraphe 12.13 du Dossier Technique.

Il y a lieu de limiter la contrainte finale dans le composite à 0,9 fois la contrainte limite de traction dans les armatures tendues existantes.

Pour cette justification, il y a lieu de limiter la contrainte finale dans les armatures tendues existantes à la valeur :

- cas de la fissuration peu préjudiciable :  $f_e$  sous combinaison rare
- cas de la fissuration préjudiciable : la limitation prévue à l'article A.4.5,33 des Règles BAEL91 sous combinaison rare
- cas de la fissuration très préjudiciable : la limitation prévue à l'article A.4.5,34 des Règles BAEL91 sous combinaison rare

La contrainte de compression dans le béton est limitée à :

- $0,6 f_{cj}$  sous combinaison rare

Calcul à l'ELU : ce calcul est mené conformément aux détails donnés dans le dossier technique établi par le demandeur : en plus des hypothèses classiques sur le béton et l'acier, la déformation du procédé Sika CarboDur est limitée à 8,5‰ pour le type S, 6,5‰ pour le type M, et le coefficient de sécurité adopté sur la contrainte à cet allongement est de 1,9.

Vérification du glissement à l'interface composite-béton : cette vérification consiste à s'assurer que la contrainte de cisaillement à l'interface composite-béton n'excède pas la valeur de la contrainte limite de cisaillement. Cette valeur limite s'appuie dans tous les cas sur des essais de pastillage à effectuer in situ sur le support après préparation, dans l'état dans lequel il est destiné à recevoir le renforcement.

La valeur de la contrainte de cisaillement limite à retenir pour le dimensionnement est calculée de la manière suivante, à partir de la résistance caractéristique à la traction du support béton  $f_{tj}$  obtenue par les essais de pastillage :

A l'ELS :	$\tau = \text{Min} \left( 1,5 \text{ MPa} ; \frac{f_{tj}}{2} \right)$
A l'ELU (fondamental et accidentel) :	$\tau_u = \text{Min} \left( 2 \text{ MPa} ; \frac{f_{tj}}{1,5} \right)$

Dans tous les cas, le procédé SIKA CARBODUR et SIKAWRAP n'est pas applicable si les essais de pastillage donnent une valeur de  $f_{tj}$  inférieure à 1,5 MPa.

#### 2.313 Renforcement des éléments en béton armé vis-à-vis de l'effort tranchant.

Le renforcement des dalles vis-à-vis de l'effort tranchant n'est pas visé dans le cadre du présent Avis Technique.

En l'absence d'utilisation d'un dispositif permettant un ancrage total dans la table de compression, les vérifications vis-à-vis de l'effort tranchant doivent être effectuées sur la section réduite de la poutre à renforcer (sans prise en compte de la table de compression des sections en T).

Le renforcement n'est pas admis dans le cas d'un moment négatif sur l'appui considéré.

Calcul à l'ELU : ce calcul est mené conformément aux détails donnés dans le dossier technique établi par le demandeur : en plus des hypothèses classiques sur le béton et l'acier, la déformation du tissu est limitée à 6 ‰ et le coefficient de sécurité adopté sur la contrainte à cet allongement est de 1,15 en situation fondamentale comme en situation accidentelle.

Les deux vérifications à effectuer, vis-à-vis de l'effort tranchant, pour les éléments en béton renforcés par les tissus en fibre de carbone (SikaWrap) établi par le demandeur sont à effectuer. Il s'agit :

- de la vérification en traction du composite,
- de la vérification de non-glissement du plan de collage.

#### 2.314 Renforcement des éléments en béton précontraint.

Le dimensionnement du renforcement des éléments en béton précontraint par le procédé SIKA CARBODUR et SIKAWRAP est effectué

selon les règles BPEL 91 rev 99 (Recommandations de l'AFGC de 2003 révisées 2007).

La méthode utilisée est décrite au paragraphe 12.2 du Dossier Technique. Les principes de justifications sont identiques à ceux développés dans le cas du béton armé sauf en ce qui concerne les états limite de service en flexion :

Pour la justification à l'état limite de service, il convient de tenir compte des classes de vérification de l'ouvrage initial (avant renforcement).

Dans tous les cas, il convient de s'assurer que, pour le renforcement en flexion des éléments en béton précontraint, la section d'enrobage soit complètement comprimée sous les combinaisons quasi permanentes.

### 2.315 Renforcement des poteaux en béton armé vis-à-vis de leur capacité en compression (confinement)

Le renforcement par le procédé SikaWrap peut être utilisé pour augmenter la capacité portante des poteaux sollicités en compression. Le dimensionnement du renforcement est effectué conformément aux dispositions décrites au paragraphe 14 du Dossier technique établi par le demandeur.

Seuls les confinements (discontinu ou total) sans renfort longitudinal sont visés dans cet avis.

### 2.316 Utilisation du procédé dans les Départements d'Outre-Mer.

En cas d'utilisation du procédé SIKACARBODUR et SIKAWRAP dans les départements d'Outre-Mer, la valeur  $f_{tk}$  à considérer dans les calculs est obtenue en multipliant la résistance caractéristique obtenue par les essais de pastillage par le coefficient 0,60.

$$f_{tk}(\text{calcul}) = 0,60 \cdot f_{tk}(\text{pastillage})$$

### 2.32 Conditions de mise en œuvre

La mise en œuvre doit être effectuée dans les strictes conditions définies dans le dossier technique établi par le demandeur, notamment pour ce qui concerne le nettoyage et la préparation des supports ainsi que la réalisation des essais de convenances sur ce même support. Il est précisé que ces essais doivent être effectués pour chaque chantier et pour tous les supports visés par le présent Avis Technique.

L'entreprise mettant en œuvre le procédé doit justifier d'une formation spécifique à ce type de renforcement.

## Conclusions

### Appréciation globale

L'utilisation du procédé dans le domaine d'emploi accepté est appréciée favorablement.

### Validité

Jusqu'au 30 juin 2022

*Pour le Groupe Spécialisé n° 3.3  
Le Président*

## 3. Remarques complémentaires du Groupe Spécialisé

Les modifications apportées à l'Avis Technique à l'occasion de cette révision sont les suivantes :

- L'ajout du tissu SIKAWRAP 600 C utilisé avec la résine SIKADUR 300.
- La suppression de la configuration d'enveloppement partiel sur les faces latérales de la retombée de poutre dans le cas des renforcements à l'effort tranchant des poutres en T.
- Les caractéristiques mécaniques du composite SikaWrap 230C/résine Sikadur 330 ont été mises à jour suivant le nouveau rapport d'essai de traction SIKAWRAP pour s'harmoniser avec la présentation des caractéristiques mécaniques du tissu 600C. En effet, conformément à la possibilité laissée par les règles AFGC, les caractéristiques mécaniques sont rapportées à l'épaisseur sèche du tissu et non pas à celle du composite.

Il est souligné que le renforcement structural d'un ouvrage existant quelle que soit la technique de renforcement utilisée, doit faire suite à un diagnostic préalable de qualification de cet ouvrage (détermination des capacités résistantes). Un tel diagnostic peut se révéler lourd et imprécis, étant notamment fonction de la qualité des matériaux, des dispositions internes souvent non accessibles (armatures, par exemple) et d'une manière générale de « l'histoire » de l'ouvrage. L'attention du Maître d'œuvre est donc attirée sur la nécessité qu'il y a à faire effectuer un diagnostic aussi précis que possible, permettant de dimensionner et de mettre en œuvre les renforcements de manière pertinente.

Dans les Départements d'Outre-Mer, le caractère variable des conditions d'hygrométrie est tel que les valeurs constatées pour  $f_{tk}$  lors des essais de pastillage, servant d'hypothèses aux calculs du glissement à l'interface composite-béton, peuvent varier considérablement durant la vie de l'ouvrage. Pour cette raison, le Groupe spécialisé n°3.3 a jugé prudent d'affecter un coefficient de réduction à la valeur  $f_{tk}$  donnée par les essais de pastillage, en cas d'utilisation dans les Départements d'Outre-Mer.

Le Groupe souhaite attirer l'attention sur le fait que la cohérence des règles de dimensionnement doit être respectée. Le demandeur n'ayant pas souhaité mettre à jour la partie Conception de son Dossier Technique suite à la publication des règles de calcul par l'AFGC selon l'Eurocode 2 en Février 2011, le domaine d'emploi est réduit aux ouvrages dimensionnés suivant les règles BAEL 91 modifiées 99.

*Le Rapporteur du Groupe Spécialisé  
n° 3.3*

# Dossier Technique

## établi par le demandeur

## A. Description

### 1. Principe

Les procédés Sika CarboDur et SikaWrap sont utilisés pour la réparation et le renforcement structural des structures par collage d'armatures additionnelles PRFC (Polymères Renforcés de Fibres de Carbone). Ils sont adaptés aux travaux sur ouvrages neufs ou en rénovation, en béton armé et béton précontraint. Le procédé Sika CarboDur se compose d'une gamme de lamelles pultrudées fabriquées en usine, à base de fibres de carbone noyées dans une matrice de résine époxy. Ces lamelles sont collées en surface du béton. Les lamelles sont associées à une colle structurale Sikadur-30. Ce procédé est essentiellement utilisé en tant que renfort d'éléments de structures travaillant en flexion ou en traction.

Le procédé SikaWrap se compose d'une gamme de tissus unidirectionnels de renforcement de structure, à base de fibres de carbone, applicable avec ou sans imprégnation préalable par une résine d'imprégnation et de collage de la gamme Sikadur. Ce procédé est utilisé en tant que renfort d'éléments de structures travaillant en flexion, à l'effort tranchant, à la compression (confinement de poteau).

### 2. Domaine d'emploi

Le présent document concerne, après diagnostic préalable conformément à la norme NF EN 1504, les ouvrages neufs ou anciens, en béton armé et béton précontraint.

Objectifs du renforcement :

- Accroître la résistance à la flexion (moments positifs et négatifs) et aux efforts de traction (procédé Sika CarboDur ou SikaWrap).
- Accroître la résistance à l'effort tranchant (procédé SikaWrap).
- Accroître la résistance en compression de poteau par confinement (procédé SikaWrap).

Ces procédés sont particulièrement adaptés pour traiter les cas suivants :

- Renforcement de structures difficiles d'accès ou encombrées par des gaines, tuyauteries, etc,
- Augmentation des charges d'exploitation,
- Ferrailage insuffisant par conception, défaut de positionnement,
- Création d'ouvertures : trémies, ...
- Endommagement de l'existant : corrosion ou sectionnement d'armatures, dommage par accident,
- Amélioration des conditions de service : réduction de flèche de plancher, réduction des contraintes dans les armatures, réduction d'ouverture de fissures.

Les procédés SikaCarboDur et SikaWrap ne sont pas utilisables dans les cas suivants :

- température du support excédant les valeurs ci-dessous :
  - 45°C en pointe et 35°C en continu pour les lamelles SikaCarboDur (Résine Sikadur 30) et le tissu SikaWrap 230C (Résine Sikadur 330)
  - 41°C en pointe et 32°C en continu pour le tissu SikaWrap 600C (Résine Sikadur 300)
- support ruisselant ;
- support en béton présentant une valeur moyenne d'adhérence obtenue par essais de pastillage inférieure à 1.5MPa.

#### 2.1 Agressivité de l'environnement

L'utilisation pour le renforcement des éléments entrant dans la constitution des bâtiments courants et industriels, en site difficile, est admise tant que l'agressivité chimique ambiante peut être considérée comme normale. Les zones maritimes ou les environnements avec sels de déverglaçage sont considérés comme d'agressivité normale pour les procédés Sika CarboDur et SikaWrap.

#### 2.2 Zones géographiques d'utilisation

Il est possible d'utiliser les procédés Sika CarboDur et SikaWrap en France Européenne (Métropole + Corse) ainsi que dans les Départements et Régions d'Outre-Mer (DROM).

### 2.3 Avantages des procédés Sika CarboDur et SikaWrap

En comparaison à d'autres techniques de renforcement de structures, les procédés Sika CarboDur et SikaWrap se caractérisent par :

- Une mise en œuvre aisée, sans moyens auxiliaires lourds (absence de systèmes de placage, de répartition d'effort de serrage, de maintien en place pendant le durcissement de l'adhésif structural).
- Un faible poids propre (pas de surcharge de l'existant, facilité et rapidité de manutention lors de la mise en œuvre).
- Une inertie en atmosphère agressive (absence de corrosion, réduction des coûts de maintenance).

## 3. Eléments et Matériaux

### 3.1 Procédé Sika CarboDur

Le renforcement en flexion d'éléments d'ouvrages par PRFC est réalisé en collant des lamelles Sika CarboDur en surface des zones tendues du béton armé.

#### 3.1.1 Lamelles Sika CarboDur S et M

Les lamelles Sika CarboDur sont des PRFC (Polymères Renforcés de Fibres de Carbone) fabriqués selon le procédé de pultrusion en usine.

Contrairement aux tissus que l'on imprègne sur chantier, les conditions de fabrication des lamelles sont strictement contrôlées ce qui permet de garantir les caractéristiques du renfort PRFC.

Contrôle de production : chaque lot de produits finis (env. 3000 m) est contrôlé en ce qui concerne le module d'élasticité, la résistance en traction, l'allongement à rupture. La largeur et l'épaisseur des lamelles sont contrôlées sur chaque rouleau de 250 m.

Les caractéristiques utilisées dans les dimensionnements des lamelles sont basées sur le traitement statistique des valeurs obtenues lors du contrôle qualité permanent assuré en usine.

La matrice est composée de fibres de carbone noyées dans de la résine époxydique.

- Couleur : noir
- Pourcentage volumétrique de fibres : > 68 %
- Densité : 1,6
- Température de transition vitreuse > 100°C
- Les lamelles sont disponibles en deux modules d'élasticité. Le choix final est fonction du besoin en renforcement, du type d'application.
  - Type S : E=170000MPa
  - Type M : E=210000MPa
- Le type le plus couramment utilisé est le type S

Dimensions et caractéristiques :

Sika CarboDur S	section mm <sup>2</sup>	largeur mm	épaisseur mm	masse g/m
S512 *	60	50	1,2	96
S614 **	84	60	1,4	134
S812 *	96	80	1,2	153
S1012 *	120	100	1,2	192
S914 **	126	90	1,4	202
S1014 **	140	100	1,4	224
S1214 **	168	120	1,4	269
S1512 *	180	150	1,2	288

\* tenu en stock (rouleau de 10, 25, 50, 250 m)

\*\* sur commande spéciale en rouleau de 250 m.

Sika CarboDur M*	section mm <sup>2</sup>	largeur mm	épaisseur mm	masse g/m
M514 *	70	50	1,4	112
M614 *	84	60	1,4	134
M914 *	126	90	1,4	202
M1014 *	140	100	1,4	224
M1214 *	168	120	1,4	269

\* sur commande spéciale en rouleau de 250 m. Nous consulter.

### 3.12 Colle époxydique Sikadur-30

- Le Sikadur-30 est une colle époxydique à deux composants A et B sans solvant, thixotrope, de couleur gris clair, utilisée pour le collage des lamelles Sika CarboDur:
- Comp.A : résine, 4,5 kg, couleur blanc
- Comp.B : durcisseur, 1,5 kg, couleur noir
- Les deux composants se mélangent avec un rapport A:B de 3:1

Densité	1,65 kg/l (mélange A+B, à +23°C)		
Aptitude à la mise en place sur surfaces verticales selon la FIP	aucun affaissement jusqu'à 3-5 mm d'épaisseur à +35°C.		
Ecrasement selon la FIP (Fédération Internationale de la Précontrainte)	4.000 mm <sup>2</sup> à +15°C à 15 kg		
Epaisseur par couche	30 mm max.		
Retrait (FIP)	0,04%		
Coefficient Dilatation Thermique	2,5 .10 <sup>-5</sup> par °C (température de -20°C à +40°C)		
Résistance en compression en MPa	(selon la norme EN 196)		
		Température de durcissement	
	Temps de durcissement	+10°C	+35°C
	12 h	-	80-90
	1 jour	50 - 60	85-95
	3 jours	65 - 75	85-95
	7 jours	70 - 80	85-95
Résistance en cisaillement en MPa	Rupture du béton (~ 15 MPa) selon FIP 5.15		
	Température de durcissement		
	Temps de durcissement	+15°C	+35°C
	1 jour	3 - 5	15-18
	3 jours	13-16	16-19
Résistance en traction en MPa	Rupture du béton (~ 15 MPa) selon FIP 5.15		
	Température de durcissement		
	Temps de durcissement	+15°C	+35°C
	1 jour	18 - 21	23-28
	3 jours	21 - 24	25-30
Dureté Shore D	≥ 70 (après 48 h à 23°C)		
	Adhérence sur béton > 4 MPa avec rupture dans le support (procédure de la FIP)		
	Adhérence sur acier > 21 MPa selon la norme EN 24624, sur support sablé suivant le degré Sa. 2,5 (Valeur moyenne > 30 MPa).		
	Module d'Elasticité		
En compression : 9600 MPa selon la norme ASTM D695 (à + 23°C) En traction : 11200 MPa selon norme ISO 527 (à + 23°C)			

### 3.13 Durabilité du système - lamelle Sika CarboDur / adhésif structural Sikadur-30

Le système Sika CarboDur / Sikadur-30 a fait l'objet des essais de durabilité suivants.

### 3.131 Adhérence sur béton après cycles de vieillissement accéléré (pluie, gel, dégel, chaleur humide, chaleur sèche, UV).

Ces essais ont été réalisés sur le système seul (Sika CarboDur / Sikadur-30) ainsi que sur le système revêtu par le revêtement de protection Sikagard-675 W ElastoColor, conforme à la norme NF EN 1504-2. Dans chaque cas, le système a été testé dans 4 conditions de température et d'humidité différentes pour refléter les cas particuliers qu'il est possible de rencontrer sur chantier, ainsi que pour tester les systèmes jusqu'à leurs limites d'utilisation.

Résultat de l'essai de traction directe avant et après vieillissement climatique accéléré (selon la norme NF EN 1542) : Adhérence > 5 MPa avec rupture dans le support béton.

### 3.132 Tenue aux UV

Les essais ont été menés sur le système seul et sur le système revêtu des revêtements de la gamme Sikagard (Sikagard-550 W Elastic, Sikagard-675 W ElastoColor, Sikagard-680 S BetonColor). Deux tests ont été pratiqués : le Sun test- 1000 heures (UV seuls) et le QUV test - 3000 heures (UV et Chaleur Humide).

Résultats : Pas de dégradations observées (rapport d'essais interne n°33001-10 ; 01/2010)

### 3.133 Performances après 18 mois de vieillissement accéléré en enceinte climatique à 40°C et 95% HR.

Les matériaux seuls ainsi que l'assemblage béton/adhésif/lamelle ont subi les essais suivants:

- Essais de cisaillement sur support béton
- Essai de traction directe
- Essais spécifiques sur la résine Sikadur-30.

Les mesures ont été faites à intervalles réguliers afin de suivre l'évolution des performances des matériaux et de leur assemblage.

Résultats : après 18 mois sous les conditions climatiques de l'essai, les performances des assemblages sont conservées, même si une évolution du mode de rupture est observée (passage d'un mode cohésif dans le béton à un mode adhésif/cohésif dans la colle et/ou interface) (rapport LCPC-LRPC Autun n°20 112-A, Février 2010).

### 3.134 Essais de traction uni-axiale avant et après vieillissement

Ces essais ont été réalisés selon la norme NF EN ISO 527-5 sur la lamelle avant et après 100 cycles de vieillissement accéléré réalisé au laboratoire LGCIE de L'Université de Lyon 1.

Valeurs moyennes	Résistance à la traction uni axiale MPa	Module d'élasticité MPa
Essai avant vieillissement	3195	179 781
Essai après vieillissement	3158	172 000

## 3.2 Procédé SikaWrap

Le renfort composite PRFC, fabriqué in situ, est réalisé en associant un tissu SikaWrap marouflé dans une résine Sikadur bien définie. Chaque tissu doit donc être utilisé avec la résine spécifiée; le système ainsi formé ne peut faire l'objet d'aucune modification car les performances du PRFC dépendent à la fois du tissu et de la résine d'imprégnation.

### 3.2.1 Critères de choix du tissu

Les tissus de la gamme SikaWrap sont principalement utilisés en tant que renfort d'éléments de structures travaillant à l'effort tranchant (poutres), à la compression (confinement de poteau).

Ils peuvent aussi être utilisés en tant que renfort d'éléments de structures travaillant en flexion (dalles, poutres). Le principe de renforcement est identique quel que soit le tissu choisi. Seule la technique de mise en œuvre change.

Les paramètres à considérer pour choisir le tissu le plus adapté sont le dimensionnement (divers grammages, module d'élasticité, nombre de couches à mettre en œuvre), la configuration du renfort (largeur des bandes, espacement entre bandes ou application en continu).

La gamme SikaWrap se compose de deux tissus qui se différencient par leur grammage, leur conditionnement, leur méthode d'application.

Le tissu dit « léger » SikaWrap-230 C est un tissu unidirectionnel de fibres de carbone assemblées par tissage, applicable « à sec » (sans imprégnation préalable du tissu). De plus, la mise en œuvre du SikaWrap-230C se fait sans application préalable de primaire sur le support en béton.

Il est constitué à 99% de fil de chaîne en fibres de carbone et 1% de fil de trame en fibres thermoplastiques blanches apportant une bonne stabilité dimensionnelle (évite au tissu de s'effilocheur lors de la découpe ou de la manutention).

Le tissu dit « lourd » SikaWrap-600 C est un tissu unidirectionnel de fibres de carbone assemblées par couture, applicable après imprégnation préalable du support et du tissu - application dite « par voie humide ».

Le tissu SikaWrap-230 C (largeur 30 ou 60 cm) est le plus couramment utilisé pour la reprise d'effort tranchant de poutres ; (bandes appliquées en continu, sans espacement entre bandes).

Lorsque le dimensionnement réalisé avec le SikaWrap-230 C nécessite un nombre de couches supérieurs à trois, alors le tissu SikaWrap-600 C peut être privilégié afin de réduire les délais et coûts d'application.

### 3.22 Application par bandes juxtaposées/ bandes espacées

Pour la reprise d'effort tranchant ou le confinement de poteau, le maître d'œuvre/bureau d'études a la possibilité de choisir un renforcement par PRFC soit appliqué en continu (bandes de tissu juxtaposées, sans espace intermédiaire) soit appliqué par bandes espacées.

Le tissu SikaWrap-230 C (largeur 30 ou 60 cm) est le plus couramment utilisé pour la reprise d'effort tranchant de poutres (bandes appliquées en continu, sans espacement entre bandes).

Pour des raisons liées au dimensionnement et vérifications, le renforcement par PRFC appliqué par bandes espacées n'est généralement pas utilisable pour les poutres de hauteur limitée.

### 3.23 Gamme des tissus SikaWrap

	SikaWrap 230 C	SikaWrap 600 C
Grammage g/m <sup>2</sup>	230	600
Epaisseur mm	0,13	0,33
Masse volumique g/cm <sup>3</sup>	1,8	1,8
Largeur mm	300, 600	300
Longueur m	rouleau 50 m	rouleau 50 m

Couleur : noire

### 3.24 Colles Sikadur pour les tissus SikaWrap

La mise en œuvre du tissu léger SikaWrap-230 C se fait sans application préalable de primaire sur le support en béton.

Tableau récapitulatif des colles époxy suivant le tissu

	SikaWrap-230 C	SikaWrap-600 C
Primaire sur support béton	AUCUN	Sikadur-330 ou -300 selon rugosité du support
Imprégnation du tissu	Sikadur-330	Sikadur-300

#### 3.241 Identification et marquage

Chaque emballage est identifié par un numéro de lot à relever sur l'étiquette du kit lors de l'auto contrôle.

#### 3.242 Performances de la résine Sikadur-330

##### Présentation :

Le Sikadur-330 est la résine d'imprégnation du tissu SikaWrap-230 C.

- Résine bi-composant :
  - Composant A : résine de couleur blanche,
  - Composant B : durcisseur de couleur grise.
- Consistance crémeuse
- Conditionnement : kit de 5 kg

##### Performances :

- Densité : 1,3 environ
- Durée de vie en pot :

Température	10°C	35°C
	90 mn	30 mn

La durée de vie en pot débute quand les 2 composants sont mélangés. Elle est plus courte à hautes températures et plus longue à basses températures. Plus la quantité mélangée est importante, plus la durée de vie en pot est courte. Pour obtenir une plus longue durée de vie en pot à hautes températures, diviser le produit, une fois mélangé, en plusieurs parties. Une autre méthode consiste à rafraîchir (pas en dessous de 5°C) les composants A et B avant de les mélanger.

Résistance en traction	30 MPa (7 jours à +23°C) NF EN ISO 527-3
Adhérence	> 4 MPa rupture dans le béton (NF EN 4624)
Module d'Elasticité	Flexion: 3800 MPa (7 jours à +23°C) EN 1465 Traction: 4500 MPa (7 jours à + 23°C) NF EN ISO 527-3
Allongement à rupture	0,9% (7 jours à +23°C) (selon la norme NF EN ISO 527-3)
Dureté shore D	> 70 à 2 jours et 20°C

#### 3.243 Performance de la résine Sikadur-300

##### Présentation

Le Sikadur-300 est la résine d'imprégnation du tissu SikaWrap-600 C et le primaire pour le support.

- Résine bi-composant :
  - Composant A : résine de couleur jaune clair et transparent,
  - Composant B : durcisseur de couleur jaune pâle et transparent.
- Consistance liquide
- Conditionnement : kit de 3,5 kg

##### Performances

- Densité : 1,16 environ
- Durée de vie en pot :

Température	Durée de vie en pot
+15°C	6 h
+23°C	4 h
+40°C	90 minutes

- Caractéristiques :

Résistance en traction	45 MPa (7 jours à +23°C selon ISO 527-3)
Adhérence	> 4 MPa rupture dans le béton (EN ISO 4624)
Module d'Elasticité	En Flexion: 2800 MPa (7 jours à +23°C) EN 1465 En Traction: 3500 MPa (7 jours à + 23°C) DIN 53455
Allongement à rupture	1,5% (7 jours à +23°C) (selon la norme EN ISO 527-3)
Dureté shore D	> 70 à 2 jours et 20°C

#### 3.25 Durabilité du composite PRFC SikaWrap-230C/Sikadur-330

##### 3.251 Tenue aux UV

Les essais ont été menés sur le système seul et sur le système revêtu des revêtements de la gamme Sikagard (Sikagard-550 W Elastic, Sikagard-675 W ElastoColor, Sikagard-680 S BetonColor). Deux tests ont été pratiqués : le Sun test- 1000 heures (UV seuls) et le QUV test - 3000 heures (UV et Chaleur Humide).

Résultats : Pas de dégradations observées. (rapport d'essais interne n°33001-10 ; 01/2010)

##### 3.252 Performances après 18 mois de vieillissement accéléré en enceinte climatique à 40°C et 95% HR.

Les matériaux seuls ainsi que l'assemblage béton/composite ont subi les essais suivants:

- Essais de cisaillement sur support béton
- Essai de traction directe (pastillage)
- Essais spécifiques sur la résine Sikadur-330.

Les mesures ont été faites à intervalles réguliers afin de suivre l'évolution des performances des matériaux et de leur assemblage.

Résultats : après 18 mois sous les conditions climatiques de l'essai, les performances des assemblages sont conservées - passage d'un mode de rupture cohésive dans le béton à un mode adhésif/cohésif dans la colle et/ou interface (rapport LCPC-LRPC Autun n°20 112-B, Février 2010).

### 3.3 Produits complémentaires

#### 3.31 Sikadur-52 Injection ou Sikadur-53

- Résine époxydique à deux composants sans solvant
- Elle est utilisée pour injecter les fissures du support avant le renforcement.

#### 3.32 Sikadur-41F

- Mortier époxydique à trois composants (résine, durcisseur, charges)
- Il est utilisé pour les ragréages et surfaçages localisés du support.

#### 3.33 Sikadur-30

- Pâte époxydique de ragréage bicomposant
- Permet les réparations sur de faibles épaisseurs

#### 3.34 Sika MonoTop-412N

- Mortiers de réparation du béton, monocomposant, applicable manuellement ou par projection voie humide.
  - MonoTop-412N : mortier à prise normale
  - MonoTop-410R : mortier à prise rapide, fibré, fin, couleur gris clair
- Classe R4 selon norme NF EN 1504-3

#### 3.35 Nettoyant Sikadur

Il est utilisé pour nettoyer les lamelles Sika CarboDur avant l'encollage.

#### 3.36 Revêtements de protection base Polymères – gamme Sikagard

Il s'agit de revêtements monocomposants à base de polymères destinés à assurer la protection du support béton, des lamelles Sika CarboDur ou des composites SikaWrap, vis-à-vis des agents agressifs, des rayons solaires directs. Le maître d'œuvre détermine la couleur sur la base du nuancier RAL.

##### 3.361 Sikagard-675 W ElastoColor

Revêtement acrylique en phase aqueuse ; faible temps de recouvrement entre couches

##### 3.362 Sikagard-550 W Elastic

Revêtement acrylique élastique en phase aqueuse ; souplesse pour le pontage de fissures.

##### 3.363 Sikagard-680 S BetonColor

Revêtement acrylique en phase solvant ; protection hautes performances (CO2 et agents agressifs, chlorures marins, etc)

#### 3.37 Revêtements de protection base ciment – gamme sikatop

##### 3.371 SikaTop-107 Protection

- Micro-mortier à base de liant hydraulique destiné à recouvrir les lamelles Sika CarboDur ou les composites SikaWrap.
- Couleur : gris ou blanc
- Protection vis-à-vis des rayons solaires directs, des ambiances environnementales agressives.

##### 3.372 SikaTop-121 Surfaçage

- Mortier de surfaçage à base de liant hydraulique modifié destiné à recouvrir les lamelles Sika CarboDur ou les composites SikaWrap.
- Couleur : gris ou blanc
- Protection vis-à-vis des rayons solaires directs, des ambiances environnementales agressives.

## 4. Fabrication

Les éléments entrant dans la constitution du procédé sont fabriqués par la société suisse SIKa SCHWEIZ AG, sise à Zürich (Suisse).

## 5. Contrôles de fabrication

Le système de management de la Qualité de Sika France est en conformité avec la norme ISO 9001:2008 pour la conception, fabrication et commercialisation de l'ensemble de nos produits pour la construction et l'industrie (certificat N°89148-2010 délivré par l'organisme accrédité DNV).

Les résines Sikadur font l'objet du marquage CE obligatoire sur les produits de collage de renforts structuraux suivant la norme NF EN 1504-9, sous système d'attestation 2+ (Essais sur produits réalisés en usine, avec inspection et surveillance continue de la production en usine par un tiers externe). Les caractéristiques ont été mesurées conformément à la norme NF EN 1504-4.

## 6. Identification du produit

Les lamelles Sika CarboDur sont identifiées par la désignation du type (S ou M) puis la référence (exemple : S512). Le numéro de lot (exemple : Batch N° X1234567) et la désignation de la lamelle sont imprimés à intervalles réguliers sur une des faces de la lamelle (tous les 2 mètres environ).

Les tissus sont identifiés par un numéro de lot imprimé sur le carton contenant les rouleaux.

En ce qui concerne les résines, chaque emballage est identifié par un numéro de lot à relever sur l'étiquette lors de l'auto contrôle.

## 7. Fourniture et assistance technique

### 7.1 Qualification de l'entreprise applicatrice des procédés Sika CarboDur et SikaWrap

Le Maître de l'ouvrage et le Maître d'œuvre doivent faire appel à une entreprise applicatrice qualifiée, expérimentée, assurée pour la réalisation de ces travaux.

De plus, afin de respecter les spécifications de mise en œuvre des procédés décrits dans le présent Dossier Technique, le personnel de l'entreprise doit être formé à l'utilisation des produits (composites PRFC, produits associés et complémentaires) par le service Formation Sika.

Suite à cette formation, chaque personne formée reçoit un certificat qui atteste qu'elle a suivi le programme de formation spécialisé relatif à l'utilisation et à la mise en œuvre des produits et procédés Sika CarboDur et SikaWrap.

### 7.2 Démarrage de chantier

Sur demande de l'entreprise, Sika assure l'assistance technique pour démonstration de la mise en œuvre des produits lors du démarrage du chantier.

## 8. Mise en œuvre

### 8.1 Généralités

Le bon fonctionnement d'une réparation ou d'un renforcement par les procédés Sika CarboDur et SikaWrap exige un support de bonne qualité.

Dans tous les cas, conformément à la norme NF EN 1504-10, la réalisation d'un diagnostic global de la structure, et en particulier des éléments à renforcer, par un organisme spécialisé 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). Ces informations importantes influent sur le calcul des renforts PRFC.

Tous les produits qui seront mis en œuvre ultérieurement doivent être conservés dans les conditions de stockage mentionnées dans les Notices Produits.

### 8.2 Préparation du support pour renforts PRFC collés en surface (lamelle, tissu)

La préparation mécanique du support a pour objet :

- - 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.

Le diagnostic permet de déterminer s'il faut éliminer les parties du support contaminées par la pénétration de chlorures, sulfates.

La préparation mécanique du support peut être réalisée par ponçage au disque diamanté, hydro-décapage\*, hydro-sablage\*, sablage, grenailage. Les méthodes qui affaiblissent la peau du béton ou qui peuvent générer de la fissuration de surface ne sont pas adaptées (bouchardage, burinage, décapage thermique,...).

(\* dans ce cas, un temps de séchage de la surface décapée doit être observé avant la mise en œuvre des renforts PRFC.

Le but recherché n'est pas de créer une forte rugosité apparente mais plutôt d'éliminer la couche superficielle, ayant généralement une faible cohésion, pour arriver à la structure du béton (granulats apparents du béton).

L'entreprise retient le moyen le plus adapté en fonction de la qualité du support, de la présence d'une peinture ou d'un revêtement et des conditions d'environnement.

Les défauts de surface en saillie et arrêtes de coffrage sont éliminés par ponçage.

Les arêtes vives (angles de poutres ou poteaux) doivent être abattues, arrondies, jusqu'à un rayon d'au moins 20 mm, par exemple par ponçage au disque diamanté avant la mise en œuvre du tissu.



## 8.21 Cohésion superficielle du support après préparation du support:

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 Sattec) : valeurs mesurées  $\geq 1,5$  MPa.

La valeur obtenue sert à caractériser le support avant la mise en œuvre des renforts PRFC mais aussi à valider les hypothèses prises lors du dimensionnement des renforts (vérification du glissement à l'interface PRFC/Béton).

**Remarque :** dans tous les cas, le support après préparation et juste avant le début du collage des renforts PRFC doit être soigneusement dépoussiéré.

## 8.22 Aspect de surface après décapage:

La surface du support préparé qui doit recevoir le collage du renfort PRFC doit présenter les tolérances de planéité et de texture d'un parement fin (ouvrages de génie civil - Fascicule 65 du CCTG) ou d'un parement soigné (bâtiment - DTU 21) :

Tolérance de planéité :

- 5 mm sous la règle de 2 m
- 2 mm sous le réglelet de 20 cm

En fonction de l'aspect de surface obtenu après décapage mécanique, il peut être nécessaire de procéder aux dispositions correctives suivantes :

Procéder à des bouchages de petits défauts locaux (pores, bullage de surface, forte rugosité ponctuelle du parement) à l'aide du produit Sikadur-30.

Procéder à des remplissages de cavités, à des reprofilages / ragréages ponctuels à l'aide du produit Sikadur-41F ou Sikadur-30, ou des produits base ciment de la gamme Sika Monotop (Sika MonoTop-412N, ...). Les travaux de réparation sont réalisés conformément aux normes NF P 95-101, NF EN 1504-10 et NF EN 1504-3.

Lorsque le diagnostic et la préparation du support ont mis en évidence des désordres liés à l'oxydation des armatures internes (fissures, épaufures...), il est nécessaire, préalablement à l'opération de renforcement, de réparer la zone d'enrobage (consulter la norme NF EN 1504-10, et NF P 95-101).

Traiter les fissures inertes de largeur supérieure à 0,3 mm selon la norme NF P 95-103 afin de recréer le monolithisme des éléments de structure et d'éviter toute discontinuité de la surface de collage. Pour les fissures de grandes largeurs (> 2-3 mm), ouvrir les fissures et reboucher à l'aide d'un mortier de la gamme Sika Monotop ou Sikatop. Pour les fissures de faible largeur, injecter selon les cas par gravité ou sous pression avec le produit Sikadur-52.

## 8.3 Conditions générales d'application

### 8.31 Conditions climatiques

Le support doit être à l'abri de la pluie et de toute arrivée d'eau. Il ne doit pas être gelé, ni présenter de film d'eau en surface au moment de la mise en œuvre des produits de collage structural Sikadur.

#### 8.311 Respect de non condensation sur le support pendant le collage

Les opérations de collage de renforts PRFC ne doivent pas débuter s'il y a un risque de condensation sur le support.

Les contrôles périodiques de non condensation sont à réaliser préalablement au démarrage du malaxage du produit de collage Sikadur. La périodicité du contrôle est inhérente aux conditions précises de chaque chantier et du risque plus ou moins élevé de condensation (% Humidité Relative > 80% par exemple). Elle est donc à définir par l'entreprise en coordination avec le maître d'œuvre ou contrôleur.

- Mesures à effectuer : Relever simultanément la température ambiante, le taux d'humidité relative et la température du support.
- Objectif à atteindre :
  - Il faut vérifier que la température du support est supérieure d'au moins +3°C par rapport à la température du point de rosée.
  - Consulter le diagramme de Mollier en annexe ou utiliser des appareils spécifiques qui permettent des prises de mesures simples et rapides et à distance du support afin de savoir instantanément s'il y a ou non risque de condensation.

Solutions en cas de risque de condensation : il faut rechercher les conditions plus favorables permettant de s'éloigner du risque de condensation par exemple en réchauffant le support et l'air ambiant et/ou en abaissant l'humidité de l'air.

#### 8.312 Plage de températures mini et maxi (support et ambiance)

Plage recommandée : entre +8°C et +35°C

En dehors de cette plage de températures, les conditions d'emploi ne sont pas optimum (Durée Pratique d'Utilisation, facilité de malaxage, vitesse de durcissement, facilité de mise en œuvre, ...).

## 8.32 Conditions de réception du support

Il est nécessaire de vérifier notamment avant le début des opérations de collage que le support est exempt de poussière et toute autre particule limitant l'adhérence des produits de collage. En effet, malgré le soin apporté à la préparation du support, il peut arriver que le moment prévu pour l'application soit décalé par rapport à la période de nettoyage du support (décalage dans le planning par exemple).

## 8.4 Méthodologie de mise en œuvre

Avant tout démarrage de la mise en œuvre, l'entreprise applicatrice doit disposer d'un plan de pose des renforts PRFC définissant :

- le procédé à utiliser : Sika CarboDur ou SikaWrap
- le type de renfort :
  - Lamelle Sika CarboDur type S ou M
  - Tissu SikaWrap (référence 230 C, 600 C)
- la section des renforts : largeur, épaisseur
- le nombre de couches de lamelle ou tissu collé à mettre en œuvre
- le positionnement des renforts sur la structure
- l'espacement entre renforts
- la distance entre les renforts et les bords des éléments de structure
- dans le cas de confinement de poteau carré ou rectangulaire : spécification de la valeur de l'arrondi (rayon) dans les angles du poteau car le dimensionnement dépend de cette valeur.

Les produits doivent être stockés dans les conditions requises : en particulier, les produits de collage doivent être conservés à température favorable pour pouvoir effectuer un mélange correct. Les produits à base de fibres de carbone (lamelle et tissu) doivent être tenus à l'abri en particulier de la pluie, du soleil, de la poussière.

Répertorier les numéros de lots de fabrication des renforts PRFC utilisés : lamelle Sika CarboDur, tissu SikaWrap et résines Sikadur.

Pour les cas d'application à basse ou haute température, stocker préalablement les produits pendant au moins 24 heures dans un lieu de stockage à température modérée et contrôlée pour faciliter le malaxage, l'application et améliorer les DPU.

Une attention toute particulière doit être portée aux conditions ambiantes et environnementales : vérifier les températures minimale et maximale pour le support, l'ambiance, le produit. Éviter les risques de condensation (température du support > température du point de rosée + 3°C).

## 8.5 Prescriptions de mise en œuvre particulières aux lamelles Sika CarboDur

### 8.51 Préparation de la lamelle

- Choisir la lamelle définie dans la note de calcul ou sur le plan d'exécution (exemple Sika CarboDur S512). Vérifier la référence et noter le N° de lot imprimé sur la lamelle.
- Découper la lamelle à la longueur définie par le Bureau d'Etudes, à l'aide d'une scie à métaux ou au disque diamant à tronçonner.
- Le nettoyage de la lamelle a pour but d'éliminer poussière et particules grasses. Il se pratique juste avant l'encollage pour éviter tout nouveau dépôt de poussière et matière grasse. Nettoyer et dégraisser la face à encoller (face opposée à celle qui fait l'objet du marquage du numéro de lot) à l'aide d'un chiffon blanc imbibé de produit de nettoyage à base de solvant (par exemple avec le Nettoyant Sikadur ou autre produit de type isopropanol). Il faut laisser le solvant s'évaporer avant l'encollage de la lamelle. Ne pas utiliser d'acétone car il s'évapore trop vite sans laisser le temps suffisant pour nettoyer la lamelle.

### 8.52 Préparation de la colle Sikadur-30

- Homogénéiser chaque composant séparément dans son emballage.
- Verser la totalité du composant B dans le composant A.
- Mélanger avec un malaxeur muni de l'hélice hélicoïdale spécial Sikadur pendant 3 minutes à vitesse lente (300 tours/minute environ) afin de limiter l'inclusion d'air, jusqu'à obtenir un mélange de consistance homogène et de couleur uniforme gris clair.
- Si nécessaire, transvaser l'ensemble du mélange dans un récipient propre, puis mélanger à nouveau pendant environ 1 minute,
- La durée de vie en pot débute quand les 2 composants sont mélangés. Elle est plus courte à hautes températures et plus longue à basses températures. Plus la quantité mélangée est importante, plus la durée de vie en pot est courte. Pour obtenir une durée de vie en pot plus longue à hautes températures, diviser le produit une fois mélangé en plusieurs parties. Une autre méthode consiste à rafraîchir (pas en dessous de 5°C) les parties A et B avant de les mélanger.

Consommation théorique approximative par mètre de lamelle \* :

Lamelle largeur	S 512 50 mm	S 812 80 mm	S 1012 100 mm	S 1512 150 mm
Sikadur-30	≈ 200 g	≈ 350 g	≈ 400 g	≈ 600 g

\* valeurs ne tenant pas compte d'éventuelles pertes, résidus dans les pots et sur les outils. La consommation peut varier suivant la planéité, la rugosité du support et le croisement ou la superposition de lamelles.

### 8.53 Pose de la lamelle Sika CarboDur

- Appliquer la colle Sikadur-30 par double encollage : une couche sur le support béton (1 mm environ) et une couche sur la lamelle Sika CarboDur (1 à 1,5 mm).

L'encollage de la lamelle se fait généralement sur un plan de travail propre et protégé par un film plastique. L'application de la colle sur la lamelle est réalisée à l'aide d'une spatule ou d'une truelle langue de chat pour les faibles linéaires de lamelle ou à l'aide d'un dispositif d'encollage adapté pour les linéaires plus importants. Nous consulter.

- La lamelle doit être positionnée sur le support préalablement préparé (voir §8.2) de la structure conformément au calepinage et au dimensionnement réalisé par le Bureau d'études ou le Maître d'œuvre. Veiller notamment à respecter les espaces entre lamelles, les distances aux appuis.
- Distance aux bords : sur les bords de poutre à renforcer, il faut respecter une distance entre la lamelle et l'arête de la poutre. La lamelle doit être positionnée à une distance équivalente à au moins l'enrobage des armatures internes du béton armé. Cela évite de renforcer une zone non armée sujette à fissuration.
- Positionner et plaquer manuellement la lamelle encollée sur le support en exerçant une légère pression; ceci doit se faire pendant le temps limite d'assemblage du Sikadur-30, soit 50 minutes environ à 20°C.
- Puis presser à l'aide du rouleau marouffeur SIKA ; le marouflage soigné doit être réalisé dans le sens longitudinal sur toute la largeur de lamelle jusqu'à obtenir un reflux continu de colle sur les bords de la lamelle.
- Enlever immédiatement ou avant durcissement, l'excédent de colle sur les bords de la lamelle avec une spatule et ne pas réutiliser les résidus s'ils ont été souillés (poussière, ...).

Les éventuels restes de colle sur la lamelle peuvent être éliminés à l'aide d'un chiffon imbibé de produit de nettoyage à base de solvant (par exemple Nettoyant Sikadur ou autre produit dégraissant).

La faible masse de la lamelle Sika CarboDur et la thixotropie du Sikadur-30 permettent d'obtenir le collage de l'ensemble sans maintien d'une pression d'application pendant la mise en œuvre et le durcissement de la colle (pas besoin d'étaillage).

Si cela est prévu dans le plan d'autocontrôle, prélever des échantillons de Sikadur-30 afin de contrôler la polymérisation du mélange (mesure de dureté shore D). Cela peut aussi servir d'aide à la décision sur le délai de la remise en service de l'ouvrage.

#### Cas de lamelles juxtaposées

Dans le cas de la juxtaposition de deux ou plusieurs lamelles, prévoir un espace libre d'au moins 5 mm entre celles-ci afin de permettre l'évacuation de l'excès de colle ou de bulles d'air lors du marouflage.

#### Cas de lamelles superposées et / ou croisées

Compte tenu de leur faible épaisseur et de leur souplesse, les lamelles peuvent être superposées par collage sans difficulté.

Le nombre maximum de couches superposées de lamelle n'est pas lié à la lamelle elle-même ou la colle, mais dépend de la qualité et de la capacité en cisaillement du support en béton. (Voir § dimensionnement pour la vérification à effectuer).

Elles peuvent également être croisées pour réaliser un renforcement bidirectionnel de dalle par exemple.

Avant le collage des lamelles superposées ou croisées, il est nécessaire d'attendre le durcissement de la première couche de lamelle (généralement le lendemain). Sinon des risques de décollements locaux ou de présence de bulles d'air peuvent apparaître.

Note importante: pour permettre le collage et le marouflage d'une lamelle en superposition, les éventuelles bavures de colle sur la première lamelle collée doivent absolument être éliminées après marouflage à l'aide d'un chiffon imbibé de produit de nettoyage à base de solvant (par exemple Nettoyant Sikadur ou autre produit dégraissant).

Le collage lamelle sur lamelle s'opère de la même manière que le collage sur béton, en ayant toujours pris soin de dégraisser les faces à coller. Laisser évaporer le solvant du produit de nettoyage.

La consommation de colle Sikadur-30 sera réduite par rapport à l'application sur béton (la première lamelle servant de support est lisse, absence de bullage et de rugosité).

Cas des croisements : au droit du croisement, rattraper l'épaisseur de la première lamelle avec du Sikadur-30 appliqué en sifflet.

Pour les finitions et protections, se reporter au §9.

## 8.6 Prescriptions de mise en œuvre particulières au procédé SikaWrap

Il convient au préalable de s'assurer que le tissu à mettre en œuvre est bien celui indiqué sur les plans d'exécution.

### 8.61 Préparation du tissu SikaWrap.

Découper soigneusement le tissu aux dimensions indiquées dans la note de calcul fournie par le Bureau d'Etudes.

Le tissu, une fois découpé, doit rester soit à plat, soit enroulé.

En aucun cas, il ne doit être plié afin de ne pas endommager les fibres.

Par ailleurs, veiller à le tenir hors poussière et à l'abri de l'humidité, du soleil.

### 8.62 Préparation de la colle Sikadur

Il faut choisir la colle et éventuellement le primaire adaptés au tissu, comme indiqué au paragraphe 3.24.

- Homogénéiser chaque composant séparément dans son emballage.
- Verser la totalité du composant B dans le composant A.
- Mélanger avec un agitateur mécanique muni de l'hélice spécial Sikadur pendant 3 minutes à faible vitesse (300 tours/minute environ) afin de limiter l'inclusion d'air, jusqu'à obtenir un mélange de consistance homogène et de couleur uniforme.
- Si nécessaire, transvaser l'ensemble du mélange dans un récipient propre, puis mélanger à nouveau pendant environ 1 minute,
- La durée de vie en pot débute quand les 2 composants sont mélangés. Elle est plus courte à hautes températures et plus longue à basses températures. Plus la quantité mélangée est importante, plus la durée de vie en pot est courte. Pour obtenir une durée de vie en pot plus longue à hautes températures, diviser le produit une fois mélangé en plusieurs parties. Une autre méthode consiste à rafraîchir (pas en dessous de 5°C) les parties A et B avant de les mélanger.

### 8.63 Application du tissu SikaWrap-230 C

*Etape A : application de la couche de colle Sikadur-330 sur le support*

- Sur le support béton préalablement préparé, appliquer à l'aide d'une spatule, d'une taloche crantée, d'un rouleau ou d'une brosse, la colle Sikadur-330 à raison de 0,7 à 1,2 kg/m<sup>2</sup> suivant la rugosité du support. Cette couche correspond à la quantité de colle nécessaire pour traverser et imprégner complètement le tissu sur toute son épaisseur lors du marouflage.

*Etape B : mise en œuvre immédiate du tissu (sur colle poisseuse)*

- Immédiatement, sur la couche de colle « poisseuse », positionner et ajuster le tissu SikaWrap conformément au calepinage et au dimensionnement réalisés par le Bureau d'Etudes.
- Maroufler le tissu dans la colle à l'aide du rouleau Sika de marouflage jusqu'à l'obtention d'une structure homogène du composite PRFC. Le marouflage doit se faire dans le sens des fibres (sens longitudinal du tissu) et non transversalement afin d'éviter la formation de plis, d'étirement, de bulles d'air.

Si aucune couche supplémentaire de tissu (ou couche de mortier de protection) n'est prévue, la finition se fait à l'aide d'un pinceau pour uniformiser l'aspect de surface du composite PRFC ; sinon voir étape C.

Après application, protéger le système SikaWrap-230 C / Sikadur-330 de la pluie, de la poussière, et de tout autre contaminant jusqu'au durcissement du composite PRFC.

*Cas de continuité de bandes de tissu (recouvrement dans le sens longitudinal) :*

Lorsque l'on doit assurer la continuité du renfort dans le sens longitudinal entre une bande interrompue et une nouvelle bande, il y a lieu de prévoir une zone de recouvrement entre bandes. La longueur de recouvrement est d'au moins 100mm ou définie en accord avec les spécifications du projet.

*Cas de juxtaposition parallèle de bandes de tissu :*

La mise en œuvre parallèle des bandes de tissu se fait généralement sans recouvrement.

*Etape C (éventuelle) : superposition de couches de tissu*

Le nombre maximum de couches n'est pas lié au tissu utilisé ou la colle, mais dépend de la qualité et de la capacité en cisaillement du support en béton.

Pour chaque nouvelle couche, appliquer une couche de colle à raison d'environ 0,5 kg/m<sup>2</sup>.

A 20°C, ceci doit être réalisé dans les 60 minutes qui suivent la pose de la couche précédente de tissu. Au-delà, respecter alors un temps d'attente d'au moins 12 heures avant de procéder à l'application d'une nouvelle couche de résine. Si l'application a lieu au-delà de 24h, prévoir un léger ponçage de la surface à l'aide d'un papier abrasif suivi d'un dépolissage et nettoyage à l'aide du Sikadur Nettoyant.

Nota : en cas de température basse et/ou d'humidité relative élevée pendant l'application, la surface du composite durci peut rester légèrement poisseuse. Avant de poursuivre, il faut enlever cette couche poisseuse : nettoyer la surface avec une éponge légèrement humidifiée, rincer et laisser sécher.

Reprendre l'exécution à l'étape B.

Etape D (éventuelle) : préparation avant finition par mortier.

Pour augmenter la rugosité nécessaire à l'adhérence d'un enduit de finition à base de ciment (par exemple Sikatop, Sika Monotop, Sikafloor Level), il est recommandé d'appliquer une couche de résine d'environ 0,25 kg/m<sup>2</sup>, puis de la saupoudrer, à l'état frais, de sable de quartz propre et sec de granulométrie 0,7/1,3 mm par exemple. Laisser sécher et aspirer les restes de sable avant d'appliquer le mortier.

Pour les finitions et protections, se reporter au §9.

## 8.64 Application du tissu SikaWrap-600 C

*Etape A : application du primaire sur le support*

Le choix du primaire Sikadur-300 ou -330 doit se faire en fonction du profil de la surface du support, des irrégularités, de la texture et du nombre de couches de tissu à mettre en œuvre :

- Cas général : support lisse, peu de rugosité, absence de bullage, appliquer le Sikadur-300. Consommation ≈ 200 g/m<sup>2</sup>. L'application se fait à l'aide d'un rouleau.
- Cas particuliers : si la surface du support présente une rugosité moyenne à importante, s'il y a un bullage important le primaire Sikadur-330 doit être utilisé. Consommation ≈ 250 à 500 g/m<sup>2</sup>. L'application se fait à l'aide d'un rouleau, d'une taloche crantée, d'une brosse, d'une truelle.
- Plusieurs couches de tissu à appliquer : utiliser le Sikadur-330. Il procure une meilleure adhérence initiale du système multicouche (cela limite le phénomène de glissement du système pendant la phase de durcissement). Consommation ≈ 250 à 500 g/m<sup>2</sup>. L'application se fait à l'aide d'un rouleau, d'une taloche crantée, d'une brosse, d'une truelle.

*Etape B : imprégnation du tissu SikaWrap-600 C sur plan de travail*

- Sur le plan de travail revêtu d'une feuille de plastique propre, répartir les 2/3 de la quantité prévue de résine Sikadur-300, soit environ 0,7 à 1 kg/m<sup>2</sup>,
- Placer le tissu SikaWrap-600 C prédécoupé sur la feuille plastique enduite de résine Sikadur-300.
- Imprégner le tissu dans la résine à l'aide d'un rouleau laine ou plastique ou raclette caoutchouc dans la direction longitudinale des fibres jusqu'à ce que la résine pénètre et sature le tissu.
- Répartir ensuite le 1/3 restant (0,3 à 0,5 kg/m<sup>2</sup>) de résine Sikadur-300 sur le tissu, puis enduire uniformément à l'aide du rouleau pour saturer complètement le tissu.
- Eliminer l'excès de résine Sikadur-300 si nécessaire. La consommation de résine peut être déterminée par pesées successives, avant et après saturation du tissu.

*Etape C : Mise en place du tissu / marouflage sur le support*

- Enrouler si nécessaire le tissu imprégné sur un tube en plastique ou en métal pour le transporter jusqu'à la zone d'application. De cette manière, le tissu ne risque pas de se déformer ou de se froisser. Laisser reposer le tissu sur le tube pendant 5 à 10 mn pour que la résine imprègne totalement le tissu sur toute son épaisseur.
- Positionner le tissu imprégné SikaWrap-600 C sur le support ayant préalablement reçu le primaire Sikadur. L'application doit avoir lieu sur primaire « frais » (c'est-à-dire encore poisseux).

La mise en place et le positionnement du tissu doivent être faits sur la base des éléments fournis par le Bureau d'études (positionnement, orientation des fibres, nombre de couches) et cela pendant le temps ouvert du primaire.

- - Maroufler à l'aide du rouleau débulleur, pour éliminer les plis et les bulles d'air, sans étirer le tissu, en travaillant parallèlement à la direction longitudinale des fibres (et jamais transversalement) jusqu'à ce que la résine soit répartie uniformément et que les bulles d'air soient éliminées. Eviter d'appliquer un effort trop important lors du marouflage pour limiter la formation de plis et d'étirements dans le tissu SikaWrap.

*Cas de continuité de bandes de tissu (recouvrement dans le sens longitudinal) :*

Lorsque l'on doit assurer la continuité du renfort dans le sens longitudinal entre une bande interrompue et une nouvelle bande, il y a lieu de prévoir une zone de recouvrement entre bandes. La longueur de recouvrement est d'au moins 100 mm ou définie en accord avec les spécifications du projet.

*Cas de juxtaposition parallèle de bandes de tissu :*

La mise en œuvre parallèle des bandes de tissu se fait généralement sans recouvrement.

- Après application, protéger le système SikaWrap-600 C / Sikadur-300 de la pluie, de la poussière, et de tout autre contaminant.

*Etape D (éventuelle) : superposition de couches de tissu.*

Dans le cas où des couches supplémentaires de tissu doivent être mises en œuvre, répéter l'opération d'imprégnation et de marouflage comme décrit ci-dessus.

Le nombre maximum de couches n'est pas lié au tissu utilisé ou la colle, mais dépend de la qualité et de la capacité en cisaillement du support en béton.

L'application doit avoir lieu, frais sur fais, dans les 60 minutes (pour une température d'env. 23°C) qui suivent l'application de la couche précédente.

Si ce n'est pas possible, il faut respecter un temps d'attente d'au moins 12 heures avant d'appliquer la couche additionnelle. Si ce délai est dépassé, poncer légèrement la couche durcie à l'aide d'un papier abrasif et éliminer les poussières et nettoyer à l'aide du Sikadur Nettoyant; appliquer une couche de primaire puis poursuivre la mise en œuvre comme décrit à partir de l'étape B.

Cas du confinement de poteaux : dans le cas de renforcement de poteau par confinement, le recouvrement des couches supplémentaires de tissu sur les précédentes couches doit être réparti uniformément sur la circonférence ou le périmètre du poteau (les joints ne doivent pas se trouver alignés).

*Etape E (éventuelle) : préparation avant finition par mortier. Consulter également le §9.*

Pour augmenter la rugosité nécessaire à l'adhérence adéquate d'un enduit de finition à base de ciment (par exemple Sikatop, Sika Monotop, Sikafloor Level) il est recommandé d'appliquer une couche de résine d'environ 250g/m<sup>2</sup>, puis de la saupoudrer, à l'état frais, de sable de quartz propre et sec de granulométrie 0,7/1,3 mm par exemple. Laisser sécher et aspirer les restes de sable avant d'appliquer le mortier.

Pour les finitions et protections, se reporter au §9.

## 9. Finition et Protection des procédés Sika CarboDur et SikaWrap

Une fois la mise en œuvre terminée, les renforts PRFC des procédés Sika CarboDur et SikaWrap peuvent être recouverts pour des raisons esthétiques (aspect type béton, finition colorée) ou techniques (protection anti UV, abrasion hydraulique, choc, trafic, ...). Il convient alors de choisir parmi les possibilités suivantes. La protection au feu est un cas particulier (voir §8.4).

### 9.1 Protection anti UV, esthétique, température en service

Les renforts PRFC doivent être à l'abri du rayonnement solaire direct.

La protection anti UV ou esthétique peut être assurée par un des systèmes suivants : Gamme Sikagard (-675 W, -550 W, -680 S).

Coloris à définir suivant teinte retenue sur un nuancier RAL. Dans le cas d'une exposition directe au rayonnement solaire, il est recommandé de choisir un revêtement de couleur claire.

Cas de l'application sur la lamelle Sika CarboDur :

- après durcissement du collage de la lamelle, dégraisser la lamelle avec le Nettoyant Sikadur et laisser évaporer le solvant.
- appliquer le revêtement Sikagard, généralement en 2 couches (consulter la Notice Produit).

Cas de l'application sur un composite SikaWrap :

- immédiatement après la fin de mise en œuvre de la couche de tissu, appliquer une couche de colle Sikadur (-300 ou -330 suivant le type du tissu)
- puis la saupoudrer immédiatement à l'état frais par jet à la volée ou par pressage de sable de quartz propre et sec de granulométrie 0,7/1,3 mm par exemple
- laisser durcir au minimum 24h et aspirer les restes de sable avant d'appliquer le revêtement Sikagard, généralement en 2 couches (consulter la Notice Produit).

Température d'exploitation de l'ouvrage en service continu permanent : elle est fixée à 35°C. Au-delà de cette température d'exploitation (cas de certaines zones en industrie notamment) il est nécessaire d'assurer la durabilité du renforcement en protégeant le plan de collage par un mortier bas ciment (voir ci-dessus) ou par un procédé spécial si la température est élevée (voir §8.4).

## 9.2 Protection / contact avec l'eau

Pour les cas où les lamelles et/ou tissus PRFC sont mis en œuvre dans des situations telles que le contact sera régulier ou permanent avec l'eau (cas des bassins, réservoirs, cuves, station d'épuration, autres ouvrages hydrauliques), il est nécessaire d'assurer la durabilité du renforcement de l'ouvrage en réalisant une protection avec un système Sikagard-63 N ou un système d'imperméabilisation par revêtement mince (Sikatop-121, ou -107) suivant les cas.

## 9.3 Protection au feu des renforts PRFC (Stabilité au feu des structures à renforcer) ou Protection contre températures élevées

La structure à renforcer doit être justifiée selon la norme P 92-701 (Comportement au feu des structures en béton – Règles de calcul FEU-BETON) en faisant un calcul à l'E.L.U. en considérant les charges sans coefficient de pondération (combinaisons accidentelles) et en prenant en compte uniquement les armatures acier de béton armé existants : alors aucune protection au feu des procédés Sika CarboDur et SikaWrap n'est nécessaire.

[Remarque : Cela ne signifie pas qu'une protection au feu des armatures existantes de la structure béton armé n'est pas nécessaire (cas des enrobages insuffisants pour une augmentation de la tenue au feu de l'ouvrage à renforcer). Lorsqu'un flocage doit être appliqué en finition sur les composites PRFC, leur surface doit être dégraissée, puis recevoir une couche de résine Sikadur, saupoudrée à l'état frais de sable de quartz propre et sec de granulométrie 0,7/1,3 mm].

Dans le cas contraire, il faut prévoir une protection des renforts PRFC vis-à-vis de l'élévation de température, afin que l'interface de collage ne dépasse pas la température de transition vitreuse de la colle Sikadur considérée (Sikadur-30 pour le procédé Sika CarboDur et Sikadur-330 ou -300 pour le procédé SikaWrap). Dans ce cas, il est possible d'utiliser un système de protection thermique dont l'épaisseur est définie sur la base d'essais au feu faisant l'objet de PV d'un laboratoire agréé par le Ministère de l'intérieur (plaques préfabriquées en silico-calcaire, système isolant thermique pâteux, mortier spécial, ...).

## 9.4 Protection contre la corrosion

Les procédés Sika CarboDur et SikaWrap sont à base de fibres de carbone et de résine époxy : aussi contrairement aux renforts traditionnels en acier, ils sont insensibles à la corrosion. Aucune protection particulière n'est ainsi nécessaire pour assurer la durabilité du renforcement.

## 10. Contrôle des travaux

Le contrôle interne (autocontrôle) est réalisé par l'équipe qui met en œuvre les procédés Sika CarboDur et/ou SikaWrap. Le plan de contrôle défini par l'entreprise reprend les différents points à contrôler avant, pendant, et après la mise en œuvre. Les annexes de ce document présentent un exemple de fiches d'autocontrôle.

Dès le début des travaux et tout au long du chantier, l'entreprise complète et tient à jour ces fiches d'autocontrôle. Ces fiches reprennent l'ensemble des résultats des contrôles décrits ci-après.

Elles doivent pouvoir être présentées à la demande du contrôleur technique ou du Maître d'œuvre.

Le contrôle externe est réalisé par le maître d'œuvre ou le contrôleur technique du chantier considéré.

### A- Contrôles avant la mise en œuvre (voir paragraphe 8)

- plan de pose des renforts PRFC disponible
- produits disponibles sur site et stockage conforme aux indications des Notices Produit
- test sur la qualité et la cohésion de surface du béton préparé selon le protocole de la norme NF EN 1542 : > 1,5 MPa. Dans le cas contraire, l'entreprise doit informer immédiatement le maître d'œuvre et/ou le contrôleur technique des valeurs obtenues.
- vérification de l'état du support préparé : tolérance de planéité et de texture, traitement des éclats de béton avec ou sans armatures apparentes, fissures traitées ou injectées, angles arrondis, balèbres et arrêtes meulées ou poncées, absence de poussières ...
- vérifications des conditions favorables de température de l'ambiance et du support, de l'humidité relative, du point de rosée (absence de condensation sur le support pendant les opérations de collage).
- pour les travaux en extérieur : bonnes conditions climatiques sans pluie, gel dégel,

- vérification de la disponibilité des EPI (Equipements de Protection Individuelle) pour l'ensemble du personnel et du matériel nécessaire à la mise en œuvre.
- relevé des N° de lots des produits qui seront utilisés lors de la mise en œuvre.

### B- Contrôle lors la mise en œuvre

- bon état des produits juste avant la réalisation du mélange
- homogénéité du mélange des produits (couleur et consistance)
- suivi de la procédure d'application (voir exemple de fiches d'autocontrôle en annexe)
- vérifier que le collage est continu sur toute la surface des renforts.
- détecter la présence éventuelle de vides. Tout défaut décelé peut faire l'objet d'une injection à l'aide du Sikadur-52 Injection.

En complément et si cela est prévu dans le cadre du marché :

- vérification de la résistance des colles durcies Sikadur-30, -330, -300 par mesurage de la dureté shore D sur échantillons prélevés, à l'aide d'un duromètre (après 2 j à 20°C, > 70).
- Sur une (des) zone(s) témoin représentative(s) choisie(s) en accord avec le maître d'œuvre prévoir le collage de bandes de PRFC témoin qui feront après durcissement du collage (généralement à échéance 7 jours à 20°C) l'objet d'essai d'adhérence par traction directe selon la norme NF EN 1542. Le nombre de pastilles est à définir avec le maître d'œuvre. Il faut noter que ces essais sont destructifs et ne permettent pas de compter sur le renfort, qui aura été testé, pour la résistance de la structure renforcée.

## 11. Dimensionnement des procédés SikaCarboDur et SikaWrap

### Généralités :

Le dimensionnement du renforcement des structures de béton armé et de béton précontraint par les procédés Sika CarboDur et SikaWrap doit être réalisé par un Bureau d'Etudes qualifié et expérimenté en calcul de structures. Le bureau d'études peut être interne ou externe à l'entreprise applicatrice des procédés.

Les hypothèses fondamentales de calcul du béton armé sont retenues :

- Les sections planes restent planes après déformations
- il n'y a pas de glissement relatif entre les armatures internes en acier, les renforts PRFC et le béton.
- La résistance en traction du béton est négligée
- La résistance en compression des renforts PRFC est négligée

Les combinaisons de charges appliquées à la structure, les lois de comportement, les coefficients partiels de sécurité sur les matériaux sont ceux donnés par le BAEL 91 rev 99.

Les matériaux de renforcement ont un comportement élastique linéaire jusqu'à la rupture.

*Caractéristiques en traction pour les composites unidirectionnels selon recommandations AFGC (février 2011) :*

Etat Limite Ultime : Contrainte limite de traction pour un calcul à l'ELU

$$f_{fud} = 0,65 \cdot f_{fu} / \gamma_{fd}$$

Etat Limite de Service : Contrainte limite de traction pour un calcul à l'ELS

$$f_{fd} = 0,65 \cdot f_{fu} / \gamma_{fd}$$

La durabilité des renforcements est prise en compte par l'intermédiaire du coefficient 0,65 (effets liés au vieillissement des matériaux dans le temps).

$f_{fu}$  : Contrainte moyenne de traction à rupture du composite PRFC

$\gamma_{fd}$  : Coefficient partiel de sécurité, qui est fonction du type de PRFC et de l'Etat Limite considéré.

Matériaux PRFC	$\gamma_{fd}$ ELU	$\gamma_{fd}$ ELS
Lamelle Sika CarboDur	1,25	1,4
Tissus SikaWrap	1,4	2

## 11.1 Loi de comportement de la Lamelle Sika CarboDur

La lamelle de type S est la plus couramment utilisée :

	Type S	Type M
Module d'élasticité $E_f$	170000 MPa	210 000 MPa
Résistance en traction $f_{fu}$	3100 MPa	3200 MPa
Résistance de calcul ELU $f_{fud}$	1612 MPa	1664 MPa
Résistance de calcul ELS $f_{fd}$	1440 MPa	1490 MPa
Allongement de calcul $\varepsilon_{fud}$	0.9%	0.8%

## 11.2 Loi de comportement du Composite PRFC SikaWrap-230 C – Sikadur-330

Les caractéristiques ci-dessous du composite sont données sur la base de l'épaisseur du tissu seul (0,129 mm) : cela permet de s'affranchir des surépaisseurs de résine inhérentes à la mise en œuvre in-situ et de rapporter les valeurs à une épaisseur fixe, connue et contrôlée.

	SikaWrap-230 C – Sikadur-330
Module d'élasticité $E_f$	225000 MPa
Allongement de calcul $\varepsilon_{fud}$	0.7 %
Résistance moyenne en traction $f_{fu}$	3500 MPa
Résistance de calcul ELU $f_{fud}$	1625 MPa
Résistance de calcul ELS $f_{fd}$	500 MPa

Exemple de dimensionnement à l'ELU

N : effort repris par une bande de largeur 1 mètre

A : section du renfort pour une bande de largeur 1 m (épaisseur du tissu 0,129 mm ; largeur 1000 mm).

$N = f_{fud} \cdot A = 1625 \cdot 129 = 210$  kN par bande de largeur 1m

## 11.3 Loi de comportement du Composite PRFC SikaWrap-600 C – Sikadur-300

Les caractéristiques ci-dessous du composite sont données sur la base de l'épaisseur du tissu seul (0,331 mm) : cela permet de s'affranchir des surépaisseurs de résine inhérentes à la mise en œuvre in-situ et de rapporter les valeurs à une épaisseur fixe, connue et contrôlée.

	SikaWrap-600 C – Sikadur-300
Module d'élasticité $E_f$	235 000 MPa
Résistance moyenne en traction $f_{fu}$	2950 MPa
Allongement de calcul $\varepsilon_{fud}$	0,6 %
Résistance de calcul ELU $f_{fud}$	1370 MPa
Résistance de calcul ELS $f_{fd}$	960 MPa

Exemple de dimensionnement à l'ELU :

N : effort repris par une bande de largeur 1 mètre

A : section du renfort pour une bande de largeur 1 m (épaisseur du tissu 0,331 mm ; largeur 1000 mm).

$N = f_{fud} \cdot A = 1370 \cdot 331 = 453$  kN par bande de largeur 1m

## 12. Renforcement en flexion par le procédé Sika CarboDur

### 12.1 Dimensionnement des renforts pour les structures en béton armé suivant le BAEL 91 révisé 99

#### 12.1.1 Vérification préalable de la structure

Avant renforcement, c'est-à-dire en tenant compte uniquement des armatures existantes en acier dans le béton armé et non des lamelles Sika CarboDur, la structure doit reprendre la totalité des charges prévues (charges initiales et charges nouvelles) à l'E.L.U. sous combinaisons accidentelles, la résistance de calcul de l'armature en acier étant prise égale à la limite d'élasticité  $f_e$ .

#### 12.1.2 Dimensionnement à l'E.L.U.

Pour réaliser le dimensionnement, on retient d'une manière générale la méthode de calcul à l'E.L.U. décrite dans les règles du B.A.E.L. 91 rev 99 pour la détermination des armatures d'une section rectangulaire.

##### 12.1.2.1 Le béton

Le béton est caractérisé par sa résistance de calcul en flexion  $f_{bu}$  et par son diagramme de calcul rectangulaire :

$$f_{bu} = \frac{0,85 \cdot f_{c28}}{1,5}$$

##### 12.1.2.2 L'armature interne en acier

L'armature est définie par sa résistance de calcul  $f_{su}$  et par son diagramme de calcul avec palier de plasticité :

$$f_{su} = \frac{f_e}{1,15}$$

##### 12.1.2.3 La Lamelle Sika CarboDur

La lamelle Sika CarboDur est caractérisée par sa résistance de calcul  $f_{fud}$  et par son diagramme de calcul linéaire (voir paragraphe 11.1).

	Type S	Type M
Résistance de calcul ELU $f_{fud}$	1612 MPa	1664 MPa

On retient la valeur approchée du bras de levier :

$$z = d - 0,4 \cdot y_u$$

Nous notons :

- $M_u$  = moment ultime
- $M_{SOLL}$  = moment sous sollicitation à l'E.L.U. dans les cas courants ( $S = 1,35 G + 1,50 Q$ ),
- $b$  = largeur de la section
- $y_u$  = hauteur comprimée du diagramme rectangulaire.

Le moment résistant du béton s'exprime par :

$$M_u = 0,8 \cdot b \cdot y_u \cdot f_{bu} \cdot (d - 0,4 \cdot y_u)$$

Comme  $M_u = M_{SOLL}$ , on peut calculer  $y_u$ .

$y_u$  permet de déterminer l'effort dans le béton  $F_B$  :

$$F_B = 0,8 \cdot b \cdot y_u \cdot f_{bu}$$

Connaissant l'effort dans les armatures internes  $F_S = A_S \cdot f_{su}$ , l'équilibre  $F_B - F_S - F_f = 0$  conduit à la valeur de l'effort dans la lamelle :

$$F_f = 0,8 \cdot b \cdot y_u \cdot f_{bu} - A_S \cdot f_{su}$$

La section de lamelle à retenir doit donc être supérieure à la valeur

$$\frac{F_f}{f_{fud}}$$

$$A_{f(mm^2)} \geq \frac{F_{f(N)}}{f_{fud(MPa)}}$$

Les lamelles Sika CarboDur sont disponibles en deux modules d'élasticité ; le type le plus couramment utilisé est le type S. Le choix final est fonction du besoin en renforcement, du type d'application.

- Type S : module E = 170 000 MPa
- Type M : module E = 210 000 MPa
- 

La section de la lamelle retenue est à choisir dans les tableaux suivants :

Sika CarboDur S	section mm <sup>2</sup>	largeur mm	épaisseur mm
S512 *	60	50	1,2
S614 **	84	60	1,4
S812 *	96	80	1,2
S1012 *	120	100	1,2
S914 **	126	90	1,4
S1014 **	140	100	1,4
S1214 **	168	120	1,4
S1512 *	180	150	1,2

\* tenu en stock (rouleau de 10, 25, 50, 250 m)

\*\* sur commande spéciale en rouleau de 250 m.

Sika CarboDur M*	section mm <sup>2</sup>	largeur mm	épaisseur mm
M514 *	70	50	1,4
M614 *	84	60	1,4
M914 *	126	90	1,4
M1014 *	140	100	1,4
M1214 *	168	120	1,4

\* sur commande spéciale en rouleau de 250 m.

### 12.13 Vérifications des contraintes à l'E.L.S.

On calcule l'état de contrainte dans les deux phases :

- Phase ① avant renforcement :
  - Charge initiales permanentes appliquées à la structure,
- Phase ② après renforcement :
  - Nouvelles charges d'exploitation de la structure (coefficient d'équivalence de la lamelle n=12 pour lamelle de type S et n= 15 pour lamelle type M), et éventuelles nouvelles charges permanentes.

On superpose les deux états de contraintes et on vérifie que les conditions définies ci-dessous pour une fissuration peu préjudiciable sont respectées :

Béton	$\sigma_b^{①+②} \leq 0,6.f_{c28}$
Armatures acier	$\sigma_s^{①+②} \leq f_e$
Lamelle Sika CarboDur type S et M	$\sigma_f \leq 500 \text{ MPa}$

Dans les cas de fissuration préjudiciable ou très préjudiciable, la limite dans les aciers existants est celle définie dans les règles B.A.E.L. 91.

### 12.14 Dispositions constructives

#### Cas de lamelles juxtaposées

Dans le cas de la juxtaposition de deux ou plusieurs lamelles, prévoir un espace libre d'au moins 5 mm entre celles-ci afin de permettre l'évacuation de l'excès de colle ou de bulles d'air lors du marouflage.

#### Distance aux bords :

La pose d'une lamelle en limite de section (bord de poutre par exemple) doit se faire à une distance libre équivalente à la valeur de l'enrobage. Une zone de béton « non armé » (enrobage) ne peut être renforcée par les composites PRFC.

#### Nombre maximum de lamelles à superposer :

Lorsque la place disponible est limitée (exemple en sous-face de poutre) il est possible de superposer les lamelles. Le nombre maximum de couches superposées de lamelle n'est pas lié à la lamelle elle-même ou à la colle, mais dépend de la qualité et de la contrainte limite en cisaillement du support en béton. Voir les vérifications présentées aux paragraphes 12.15 et 12.16.

#### Arrêt de la lamelle :

Au-delà de la zone sollicitée et renforcée en flexion, la lamelle Sika CarboDur doit être prolongée d'une longueur minimum de 20 cm, correspondant à la longueur d'ancrage.

### 12.15 Vérification du cisaillement de glissement en flexion

Cette condition est prépondérante dans le cas des structures faiblement armées ou fortement renforcées pour tenir compte du risque de délaminage aux points qui concentrent un effort tranchant et un moment fléchissant importants.

On doit vérifier que la contrainte de cisaillement  $\tau_u$  à l'interface entre la lamelle collée et le béton n'excède pas la valeur de la contrainte limite de cisaillement  $\bar{\tau}_u$  à l'ELU.

$$\tau_u = \frac{V_u}{b_f \cdot 0,9 \cdot d} \cdot \frac{F_f}{F_f + F_s} \leq \bar{\tau}_u \text{ (ELU) avec :}$$

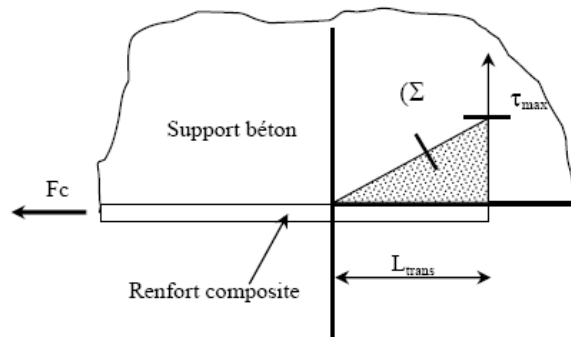
- $V_u$  : effort tranchant appliqué à la section
- $F_f$  : effort de traction repris par le renfort PRFC Sika CarboDur à l'ELU
- $F_s$  : effort de traction repris par les armatures longitudinales à l'ELU
- $b_f$  : largeur de la lamelle Sika CarboDur
- $\bar{\tau}_u$  : contrainte limite de cisaillement à l'ELU. Cette valeur est calculée à partir des essais de pastillage.
  - $\bar{\tau}_u = \text{Min}(2 \text{ MPa}; \frac{f_{tj}}{1,5})$

### 12.16 Vérification du délaminage à l'extrémité du renfort PRFC Sika CarboDur

La vérification du délaminage fait référence à celle proposée par les recommandations de l'AFGC (février 2011).

#### Vérification à l'ELS

On calcule l'effort repris dans le composite à l'état limite de service dans la section située juste après la zone de transfert ( $\Sigma$  sur la figure ci-après). Soit  $F_{fELS}$  la valeur de cet effort.



On vérifie que le cisaillement maximal dans la zone de béton d'enrobage est inférieur à la contrainte limite de cisaillement admissible à l'ELS, en considérant une répartition moyenne de la contrainte de cisaillement :

$$\tau_{\max ELS} = (F_{fELS}) / (b_f \cdot l_{anc,d}) \leq \bar{\tau}$$

Avec  $l_{anc,d} = 20 \text{ cm}$  et  $b_f$  la largeur de la lamelle Sika CarboDur

- $\bar{\tau}$  : contrainte limite de cisaillement à l'ELS. Cette valeur est calculée à partir des essais de pastillage.
- $\bar{\tau} = \text{Min}(1,5 \text{ MPa}; \frac{f_{tj}}{2})$

#### Vérification à l'ELU

On détermine l'épaisseur minimale de renfort nécessaire pour assurer la résistance en flexion à l'ELU de la section ( $\Sigma$ ). Soit  $t_{fELU}$  cette épaisseur.

Soit  $F_{fELU}$  l'effort ultime correspondant dans le renfort :

$$F_{fELU} = f_{jud} \cdot b_f \cdot t_{fELU} \text{ (pour un pivot D)}$$

On vérifie que le cisaillement maximal correspondant à l'introduction de l'effort  $F_{\text{ELU}}$  sur la longueur d'ancrage est inférieur au cisaillement admissible à l'ELU, en considérant une répartition moyenne de la contrainte de cisaillement :

$$\tau_{\text{max ELU}} = (F_{\text{ELU}}) / (b_f \cdot l_{\text{anc,d}}) \leq \bar{\tau}_u$$

avec  $l_{\text{anc,d}} = 20 \text{ cm}$ , et  $b_f$  la largeur de la lamelle Sika CarboDur.

- o  $\bar{\tau}_u$  : contrainte limite de cisaillement à l'ELU. Cette valeur est calculée à partir des essais de pastillage.
- o  $\bar{\tau}_u = \text{Min} (2\text{MPa}; \frac{f_{tj}}{1,5})$

## 12.2 Dimensionnement des renforts pour les structures en béton précontraint suivant le BPEL 91

Le calcul des structures en béton précontraint renforcées par le système Sika CarboDur est mené suivant les règles du BPEL.

Ce dernier définit 3 classes de vérification en ELS, classées par ordre de sévérité décroissante, fonction de l'état de fissuration envisagé, du type d'ouvrage, de l'environnement.

Classe I : concerne des ouvrages particuliers ou exceptionnels (parois étanches, réservoirs avec fluide dangereux, pièces sollicitées en fatigue,....). Le béton est entièrement comprimé en tout point de la section : aucune contrainte de traction n'est admise.

Classe II : destinée aux ouvrages exposés à une ambiance agressive et à ceux qui comportent des joints ; elle se caractérise par une contrainte de traction admissible.

Classe III : intéresse essentiellement les éléments en atmosphère peu agressive (bâtiments courants).

### 12.21 Vérification de la flexion à l'ELS

Il faut superposer les états de contraintes avant et après renforcement (augmentation des charges)

en classe II (BPEL Art 6.1,23)

La vérification en classe II s'applique aux éléments en béton précontraint à renforcer, dimensionnés à l'origine en classe I.

Au moment du renforcement aucune traction dans le béton n'est admise: ( $f_{ij} = 0$ )

En service, le calcul des contraintes est effectué sur la section non fissurée, en vérifiant les contraintes données dans le BPEL :

- sous combinaisons rares :  $f_{ij}$  dans la section d'enrobage ;  $1,5 f_{ij}$  ailleurs
- sous combinaisons fréquentes : 0 dans la section d'enrobage

en classe III (BPEL Art 6.1,24)

Le calcul est effectué sur la section fissurée : calcul en flexion composée en considérant l'historique du renforcement :

Etat 1 : structure à l'état initial avant renforcement

Etat 2 : application du chargement à la structure renforcée

Etat 3 : structure à l'état final correspondant à superposition des états précédents (superposition des états de contraintes)

Contraintes normales admissibles dans les matériaux :

- Contrainte de compression du béton

$0,6 \cdot f_{cj}$  (ou  $0,5 f_{cj}$  sous combinaisons quasi permanentes)

- Contrainte admissible pour les aciers passifs

- o Sous combinaisons rares :
 
$$\xi = \min \left( \frac{2}{3} f_e; \max(0,5 \cdot f_e; 110 \sqrt{\eta \cdot f_{ij}}) \right)$$

Avec :

$\xi$  la contrainte limite en traction des armatures ;  
 $\eta$  le coefficient de fissuration des armatures passives (1.0 pour les ronds lisses, 1.6 pour les armatures HA).

- o Sous combinaisons fréquentes :  $0,35 f_e$
- Contrainte admissible pour les aciers de précontrainte : (exploitation)
  - o Sous combinaisons rares, la surtension dans les armatures de précontrainte est limitée à :
    - $0.1 f_{\text{prg}}$  pour la précontrainte adhérente par post-tension

- $\min \{ 0,1 \cdot f_{\text{prg}} ; 150 \eta_p \}$  pour la précontrainte par pré-tension

Avec :

$f_{\text{prg}}$  la charge maximale à la rupture des armatures de précontrainte rapportée à la section nominale ;

$\eta_p$  le coefficient de fissuration des armatures de précontrainte (1.3 pour les torons et 1 pour les fils autres que ronds et lisses)

- o Sous combinaison fréquente : la surtension dans les armatures de précontrainte est limitée à 100 MPa  
 En combinaison d'exploitation: aucune traction n'est admise dans la section d'enrobage

- pour les lamelles Sika CarboDur :  $\sigma_f < \sigma_{f \text{lim}}$

avec  $\sigma_{f \text{lim}} = 500 \text{ MPa}$

Section minimale des renforts Sika CarboDur:

Dans le cas des éléments précontraints par pré-tension, le calcul se fait sur la base de l'article 6.1.32 du BPEL.

La section minimale de renfort nécessaire dans les zones tendues est donnée par la formule :

$$A_f = B_t / 1000 + \{ N_{\text{Bt}} / \sigma_{\text{nim}} - A_s - A_p \} \cdot f_{tj} / \sigma_{\text{Bt}}$$

Avec

$B_t$  : aire de la partie du béton tendu

$\sigma_{\text{nim}}$  : contrainte de traction admissible à l'ELS

$N_{\text{Bt}}$  : résultante des contraintes de traction

$\sigma_{\text{Bt}}$  : valeur absolue de la contrainte maximale de traction

Ces quantités sont calculées sur la section non fissurée, en classe II et en classe III.

$A_s$  et  $A_p$  étant respectivement la section des armatures passives et la section des armatures de précontrainte pré-tendues, dont la distance au parement en traction est inférieure à 5 cm ou les 2/3 de la hauteur du béton tendu.

### 12.22 Vérification de la flexion à l'ELU

Effort dans le béton

$$F_b = 0,8 \gamma_u \cdot b \cdot f_{bu}$$

Effort dans l'acier passif

$$F_s = A_s \cdot f_{su}$$

Effort dans l'acier actif

$$F_p = A_p \cdot E_p \cdot \Delta \cdot \varepsilon_p / \gamma_p$$

Avec  $\gamma_p = 1.15$

Effort dans la lamelle Sika CarboDur

$$F_f = A_f \cdot E_f \cdot \varepsilon_f / \gamma_f$$

Avec  $\gamma_f = 2$

A partir de la géométrie de la structure et des efforts dans les matériaux, vérifier que le moment sollicitant reste inférieur au moment résistant de la section.

## 13. Renforcement à l'Effort Tranchant des structures en béton armé et précontraint par le procédé SikaWrap

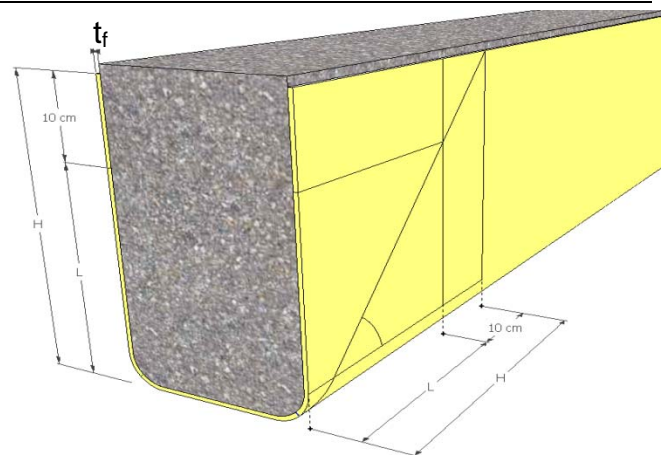


Figure 1 Schéma d'une poutre renforcée avec le composite SikaWrap

### Principe général

Le principe de dimensionnement consiste à vérifier que, dans toute section de la structure où les armatures en acier existantes sont insuffisantes vis-à-vis de la reprise de l'effort tranchant, la contrainte atteinte dans le composite PRFC SikaWrap est inférieure à sa contrainte ultime de résistance.

La section renforcée ou réparée avec le système SikaWrap fonctionne de manière similaire à une section de béton armé classique; le renfort PRFC SikaWrap agit comme une armature passive externe en complément des armatures internes, afin de recoudre une fissure potentielle d'effort tranchant.

### 13.1 Approche BAEL. et hypothèses

Le calcul de la contrainte dans le composite s'appuie sur une approche de type BAEL. en retenant l'hypothèse du treillis de Ritter-Mörsch (inclinaison à 45° des fissures d'effort tranchant) et celle de Bresson qui fixe à 10 cm la longueur minimale de collage permettant de considérer la fissure inclinée à 45° comme cousue de manière efficace par le composite SikaWrap. Ainsi, on ne prend pas en compte dans le calcul les derniers 10 cm à chaque extrémité du collage.

#### 13.11 Contrainte dans le renfort composite

On admet par hypothèse que le composite doit équilibrer l'intégralité de l'effort tranchant non repris par le béton et les armatures existantes.

Si on note  $V_u$  l'effort tranchant ultime total dans la section de poutre considérée et  $V_{b.at}$  l'effort tranchant ultime repris par la structure existante (contribution des armatures et du béton), l'effort tranchant  $V_f$  repris par le composite SikaWrap s'exprime par :  $V_f = V_u - V_{b.at}$

Le composite SikaWrap doit donc reprendre une contrainte notée  $f_f$  qui vaut :

$$f_f = \frac{V_f}{A_{ft}}$$

Où  $A_{ft}$  représente la section utile du composite.

#### 13.12 Section utile de composite

Dans une section donnée de la poutre à renforcer, la section utile du composite qui assure la reprise de l'effort tranchant est donnée par :

$$A_{ft} = 2 \cdot t_f \cdot L$$

$L$  (mm) : longueur utile de collage (voir schéma ci-dessus)

• Dans le cas d'un enveloppement en forme de U, le composite est collé sur les 2 faces latérales en continuité en passant sous la poutre :

$$L_{(mm)} = H_{(mm)} - 100$$

• [Les derniers 100 mm à chaque extrémité du collage correspondent à la zone d'ancrage et ne sont donc pas considérés dans la section efficace de renforcement].

• Avec  $H$  : hauteur (mm) sur laquelle est appliqué le renfort SikaWrap (en général, la hauteur de retombée de la poutre) ;

• La section utile du composite s'exprime donc par :

$$A_{ft} = 2 \cdot t_f \cdot (H - 100)$$

• Pour mémoire :

• Epaisseur  $t_f$  d'une couche de renfort SikaWrap 230C : 0.129mm.

### 13.2 Dimensionnement

#### 13.21 Longueur de poutre à renforcer

Il y a lieu d'appliquer le renforcement sur toute la longueur de la poutre où l'effort tranchant sollicitant est supérieur à la capacité portante du béton et des armatures existantes.

#### 13.22 Section du renfort composite SikaWrap

L'effort tranchant  $V_f$  à reprendre par le renfort composite SikaWrap étant connu, il faut déterminer si une couche de tissu (qui donne une section utile de renfort  $A_{ft}$ , voir paragraphe 13.12) est suffisante pour

que la contrainte engendrée au sein du renfort  $\sigma_f$  soit inférieure à la contrainte limite en traction de calcul  $f_{fud}$  du renfort SikaWrap :

$$\sigma_f = \frac{V_f}{A_{ft}} < f_{fud}$$

Pour mémoire :

Contrainte limite en traction du SikaWrap 230C :  $f_{fud}=1625\text{MPa}$ .

Si la vérification ne passe pas, réitérer le calcul en augmentant le nombre de couches nécessaires de renfort SikaWrap-230 C jusqu'à 3, ou en utilisant le tissu SikaWrap-600 C.

Pour mémoire :

Epaisseur  $t_f$  d'une couche de renfort SikaWrap 600C : 0.331mm ;

Contrainte limite en traction du SikaWrap 600C :  $f_{fud}=1370\text{MPa}$ .

### 13.3 Vérification de la contrainte de glissement

Il est nécessaire de vérifier la contrainte de glissement  $\tau_f$  à l'interface béton/ renfort SikaWrap sur la zone d'ancrage (tissu appliqué sur les 2 faces de la poutre) :

Surface d'ancrage :  $2 \cdot L_{anc} \cdot L$

Avec  $L_{anc} = 100$  mm (voir schéma ci-dessus)

A partir des hypothèses retenues, cette contrainte s'exprime par :

$$\tau_f = \frac{V_f}{2 \cdot 100 \cdot L}$$

Elle doit être inférieure à la valeur critique  $\tau_{cr} = 2\text{MPa}$

## 14. Renforcement de poteau par confinement à l'aide du procédé SikaWrap

### 14.1 Domaine d'utilisation et principe de dimensionnement

Le confinement par matériau composite PRFC permet d'augmenter l'effort normal que peut supporter un poteau (sain ou endommagé). L'application circonférentielle du procédé SikaWrap (Tissu de fibres de carbone associé à la résine époxydique Sikadur) permet, en limitant les déformations transverses du béton, d'améliorer de façon significative le comportement en compression des poteaux.

L'effet du confinement est une augmentation de la capacité portante ultime du poteau.

Le principe de calcul retenu est basé sur les recommandations de l'AFGC.



Confinement discontinu	Confinement total
------------------------	-------------------

#### Elancement

La procédure de dimensionnement concerne uniquement des poteaux de section circulaire, carrée ou rectangulaire (dans la limite où le grand coté 'b' est supérieur ou égal à 1,5 fois le petit coté 'a') et dont l'élancement est réduit.

Pour que la méthode puisse être appliquée, les poteaux devront vérifier la condition suivante :  $\lambda \leq 50$  (recommandations de l'AFGC de juin 2010).

Lorsque l'élancement est supérieur à cette valeur limite, les calculs lors du dimensionnement devront faire l'objet d'une étude plus approfondie (calculs de flambement par exemple) ; Les renforts longitudinaux, seront placés sous les renforts de confinement. Ceux-ci permettront de diminuer le risque de flambement des poteaux si nécessaire et leur ancrage sera grandement augmenté).



**Conditions de continuité**

Les renforts de poteaux devront également respecter des dispositions constructives en ce qui concerne les ancrages et les longueurs de recouvrement, les rayons de courbure des renforts, et l'espacement entre bandes de renfort.

**14.2 Résistance du béton confiné**

La pression de confinement  $f_l$  provenant du renfort PRFC SikaWrap s'exprime par  $f_l = E_p \cdot \varepsilon_{fud}$  avec :

$$f_l = E_p \cdot \varepsilon_{fud}$$

$\varepsilon_{fud}$  : déformation à rupture du renfort PRFC

$E_p$  : module de confinement (traduit la rigidité du confinement)

$E_p = \frac{2t_f \cdot n_p}{D} \cdot E_f$	section circulaire
$E_p = \frac{2t_f \cdot n_p}{b} \cdot E_f$	section rectangulaire

avec

- $E_f$  le module d'élasticité en traction du renfort PRFC SikaWrap;
- $t_f$  l'épaisseur du renfort PRFC SikaWrap ;
  - Epaisseur  $t_f$  d'une couche de renfort SikaWrap 230C : 0.129mm
  - Epaisseur  $t_f$  d'une couche de renfort SikaWrap 600C : 0.331mm
- $b$  le grand coté pour un poteau de section rectangulaire ;
- $D$  le diamètre pour une section circulaire ;
- $n_p$  le nombre de plis.

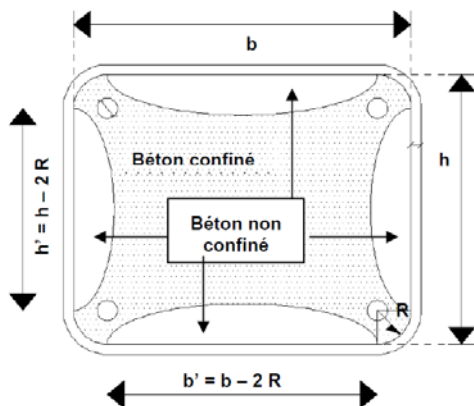
La résistance de calcul en compression du béton confiné est

$$f_{cd,c} = f_{cd} + \psi_f \cdot \alpha \cdot k_c \cdot k_h \cdot f_l$$

$f_{cd}$	résistance de calcul en compression du béton
$\psi_f$	coefficient de performance (fonction de la forme de la section du poteau)
$\alpha$	coefficient d'efficacité du confinement.
$k_c, k_h$	coefficients minorateurs

**Valeurs des coefficients à considérer :**

- $\psi_f = 0,8$  pour une section circulaire
- $\psi_f = 0,6$  pour une section rectangulaire (avec angles arrondis de rayon R tel que  $R \geq 35\text{mm}$ )
- $\alpha = 3,45$  pour un béton d'usage courant  $f_{ck} \leq 60\text{MPa}$
- $k_c$  : coefficient minorateur pour prise en compte de la forme de la section. Dans les poteaux de section circulaire, la pression de confinement est considérée uniforme. Par contre, dans le cas des poteaux présentant des sections rectangulaires ou carrées, seule une partie du noyau de béton est effectivement confinée, ce qui réduit l'efficacité du confinement.



Distribution non uniforme de la pression de confinement sur une section rectangulaire

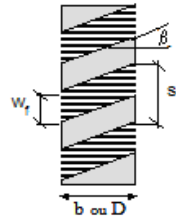
$k_c = 1$	section circulaire
$k_c = 1 - \frac{h^2 + b^2}{3A_c}$	section rectangulaire

- $k_h$  : coefficient minorateur pour prise en compte du type de confinement (continu, discontinu), la largeur  $\omega_f$  du renfort PRFC SikaWrap, l'espacement  $S_f$  entre bandes et leur orientation (fonction de l'angle d'inclinaison  $\beta$ ).

Cas du renforcement continu :

Pour un confinement total continu,  $k_h = 1$

Cas du renforcement discontinu :



Section circulaire	Section rectangulaire
$k_h = \frac{1}{1 + \frac{S_f}{\pi D}} \cdot \frac{\left(1 - \frac{S_f - w_f}{2D}\right)}{1 - \rho_l}$	$k_h = \frac{\left(1 - \frac{S_f - w_f}{2h}\right) \left(1 - \frac{S_f - w_f}{2b}\right)}{1 - \rho_l}$

Avec  $\rho_l$  le taux de ferrailage longitudinal ( $A_s/B$ ), avec  $S_f$  fonction de  $\beta$  l'angle d'inclinaison des bandes et  $b$ , la longueur droite du coté ( $b' = b - 2R$ ).

**14.3 Calcul de la portance d'un poteau confiné**

Un poteau renforcé par confinement à l'aide de renfort en PRFC SikaWrap peut reprendre la charge maximum :

$$N_u \leq \gamma_\lambda (B \cdot f_{cd,c} + A_s f_{su})$$

Avec  $\gamma_\lambda$  coefficient qui dépend de l'élançement  $\lambda$

$$\gamma_\lambda = \frac{0,85}{1 + 0,2 \left(\frac{\lambda}{35}\right)^2} \quad \text{pour } \lambda \leq 50$$

**14.4 Dimensionnement**

L'élançement du poteau à renforcer doit satisfaire la condition suivante :  $\lambda \leq 50$

**Calcul de la résistance de calcul du béton confiné :**

$$f_{cd,c} = \frac{1}{B} \left( \frac{N_u}{\gamma_\lambda} - A_s f_{su} \right)$$

Calcul de la pression de confinement requise :

$$f_l = \frac{f_{cd,c} - f_{cd}}{\psi_f k_c k_h \alpha}$$

Calcul du nombre de plis nécessaire de renfort SikaWrap :

$n_p \geq \frac{D \cdot f_l}{2 \cdot t_f \cdot E_f \cdot \varepsilon_{fud}}$	Pour une section carrée
$n_p \geq \frac{b \cdot f_l}{2 \cdot t_f \cdot E_f \cdot \varepsilon_{fud}}$	Pour une section circulaire

Pour mémoire, les caractéristiques des tissus sont comme suit :

SikaWrap-230 C	
Module d'élasticité $E_f$	225000 MPa
Allongement de calcul $\varepsilon_{fud}$	0.6 %
Epaisseur $t_f$	0.129mm

SikaWrap-600 C	
Module d'élasticité $E_f$	235 000 MPa
Allongement de calcul $\varepsilon_{fud}$	0,6 %
Epaisseur $t_f$	0.331mm

### 14.5 Dispositions constructives

Rayon de courbure des renforts SikaWrap

Les angles des poteaux doivent être préparés de manière satisfaire un rayon de courbure  $R \geq 35$  mm.

Espacement entre bandes de renfort SikaWrap

L'espacement maximal entre bandes de renfort ( $s_f - w_f$ ) sera limité à la plus petite des valeurs :

$$s_f - w_f < \min(40cm; 15\phi; S_t)$$

$\phi$  : diamètre minimal des armatures longitudinales comprimées afin de limiter le risque de flambement de ces armatures

$S_t$  : distance entre les cadres d'armatures transversales.

Conditions d'ancrage et longueur de recouvrement ( $l_{rec}$ ) des renforts composites

Un soin particulier doit être apporté à la zone de recouvrement du composite car elle assure l'ancrage du renfort. Dans tous les cas, il faut au moins 10 cm de longueur de recouvrement pli sur pli. Afin d'éviter toute rupture par décollement / cisaillement interlaminaire, la longueur de recouvrement doit satisfaire la condition suivante :

$$l_{rec} \geq \max \left\{ \frac{f_{fud} \cdot t_f}{\tau_{fd,d}} ; 10cm \right\}$$

$l_{rec}$  : longueur de recouvrement

$f_{fud}$  : contrainte limite en traction du renfort

$t_f$  : épaisseur du renfort

$\tau_{fd,d}$  : contrainte de cisaillement interlaminaire du renfort (16 MPa pour le SikaWrap 230C et 32MPa pour le SikaWrap 600C)

Dans le cas d'un confinement avec renforts inclinés (renforcement en spirale), l'ancrage du renfort PRFC SikaWrap doit être complété par une bande de renfort horizontal continu (au sommet et à la base du poteau), ancrée suivant la condition précédente, et dont la largeur est au moins égale à  $w_f$ .

## B. Résultats expérimentaux

**Procédé Sika CarboDur :**

- Essai d'adhérence sur béton, par traction directe, par traction cisaillement, avant et après vieillissement accéléré, LCPC.
- Essai de traction uni axiale et de traction cisaillement interlaminaire, avant et après vieillissement accéléré, LGCIE.
- Rapport de Thèse de l'Université d'Artois à Béthune (E.DAVID, janvier 1999).
- Essai de tenue aux UV du composite, SIKA

•

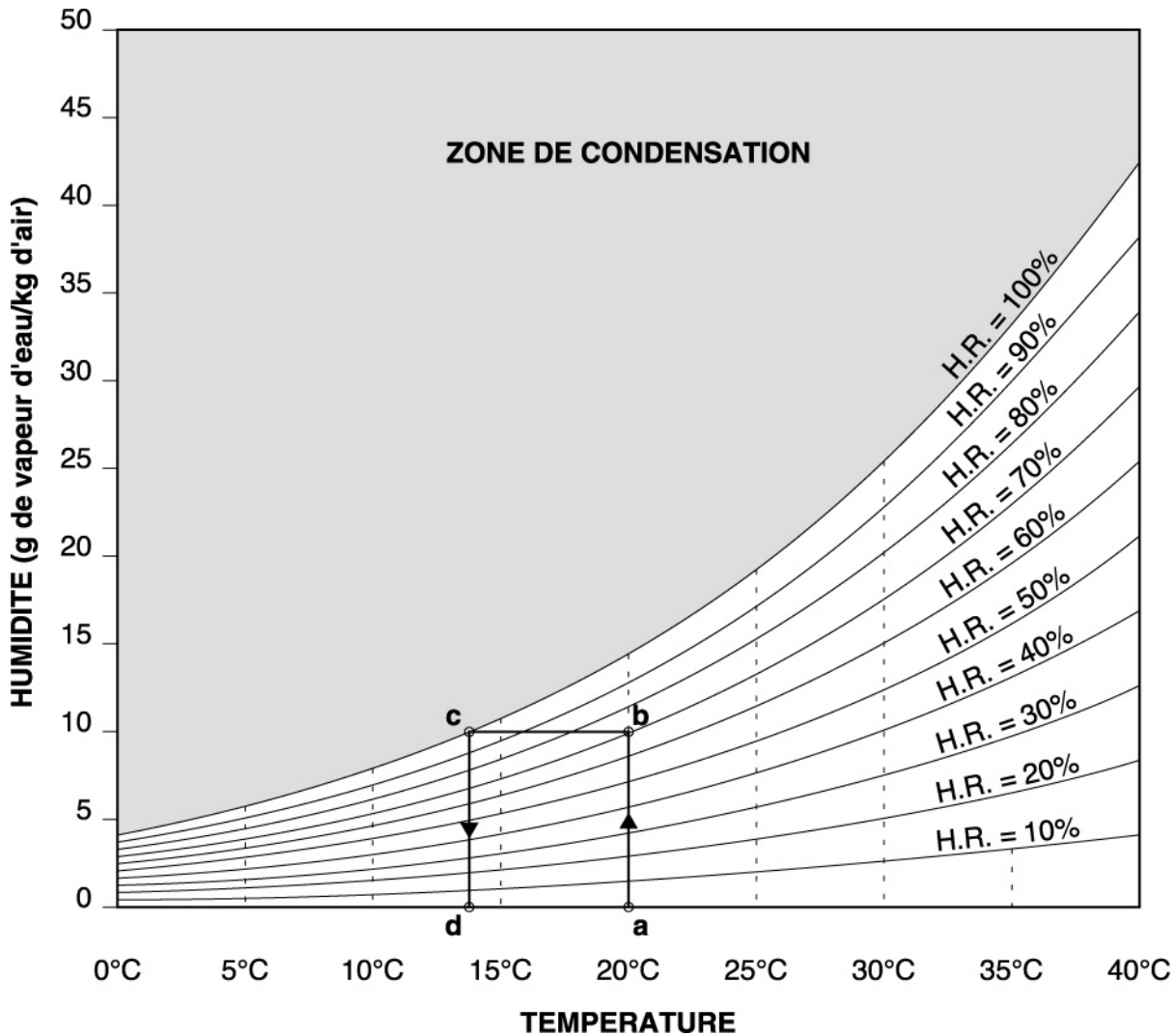
**Procédé SikaWrap:**

- Essai d'adhérence sur béton, par traction directe, par cisaillement, avant et après vieillissement accéléré, LCPC.
- Essai de traction uni axiale et de traction cisaillement interlaminaire, avant et après vieillissement accéléré, LGCIE.
- Rapport essais EPFL n°97.02 Carbon fiber shear strengthening of rectangular concrete beams
- Rapport essais EMPA n°405552E shear strengthening with CFRP fabric
- Rapport essais EMPA n°200137E/1 shear strengthening with CFRP fabric
- Essai de tenue aux UV du composite SikaWrap, SIKA
- LMC2 – Mai 2016 – Caractérisation du tissu SikaWrap 600 C – Essai Cisaillement – Double recouvrement
- LMC2 – Septembre 2015 – Caractérisation du tissu SikaWrap 600C – Traction et cisaillement interlaminaire
- SIKA – Mars 2016 – Glass Transition Temperature of Sikadur 300 cured at 23°C

•

## Annexe 1 - CONTRÔLE DU RISQUE DE CONDENSATION SUR LE SUPPORT

Pour contrôler le risque de condensation, il est possible d'utiliser soit le diagramme de Mollier ci-dessous soit d'utiliser un thermo hygromètre (mesurage de la température ambiante, de l'humidité relative, de la température du point de rosée) et un thermomètre de surface (mesurage de la température de la surface du support à renforcer). La température du support doit être supérieure à la température du point de rosée augmentée de 3 degrés.



Ce diagramme permet de contrôler le risque de condensation sur les supports.

Il faut connaître trois paramètres :

- La température ambiante,
- L'humidité relative de l'air,
- La température du support.

Un exemple est donné pour une température ambiante de 20°C et une humidité relative de 70 % :

- Pointer la température ambiante (point a),
- Prendre la verticale jusqu'à couper la courbe correspondante à l'humidité relative (point b),
- Suivre l'horizontale jusqu'à couper la courbe humidité relative égale 100 % (point c),
- Lire la température à la verticale de ce dernier point (point d).

Cette température est celle du support en dessous de laquelle il y a condensation.

La température du support doit donc être supérieure à cette dernière valeur augmentée de 3 degrés.

Exemple : pour une température ambiante de 20°C et une humidité relative HR de 70 %, la température du support doit être supérieure à 17°C (soit 14°C + 3°C).

**Annexe 2 – FICHES DE CONTROLE INTERNE A L'ENTREPRISE**

**Fiche N° 1 - contrôles préalables à la mise en œuvre des renforts PRFC**

Entreprise : ..... Date : .....

Référence chantier : .....

Type de structure à renforcer (poutre, dalle, poteau) : .....

Nature du support : .....

Localisation de l'application (référence, plan, étage, ...) : .....

.....

Nom de la personne chargée du contrôle interne : .....

Eléments à contrôler	conforme Oui / Non	Actions correctives
Diagnostic de la structure disponible Support contaminé par chlorures, sulfates, autres agents...		Demande au maitre d'œuvre si besoin
Préparation du support Absence de revêtement existant et imprégnation (peinture, revêtements, flocage, plâtre, hydrofuges de surface, ...)		Elimination des revêtements : décapage par sablage, lavage eau haute pression, ponçage, ...
Absence de laitance, huile, graisse, lichens, mousses,		Elimination de la laitance et des impuretés : sablage, lavage eau haute pression, ponçage,
Absence de fissure inerte de largeur > 0,3 mm		Réparation, rebouchage ou injection selon NF P 95103
Absence d'éclats de béton avec ou sans armatures apparentes, de zones ségréguées (nids de cailloux)		Réparation suivant DTU 42.1, NF P 95101
Absence de défauts de surface : bullage, cavités		Réparation, surfacage DTU 42.1, NF P 95101
Absence d'arêtes vives		Arête à abattre ou arrondir par ponçage
Angles de poutre ou de poteau arrondis (Rayon mini = 20 mm)		Angles à arrondir par ponçage
Planéité de surface : 5 mm sous la règle de 2 m ; 2 mm sous le réglet de 20 cm		Ponçage, réparation
Cohésion de support et des éventuelles réparations existantes : Mesurage de la cohésion superficielle du béton par traction directe (essai de pastillage avec appareil sattec) après préparation, selon NF EN 1542 : moyenne des valeurs $\geq 1,5$ MPa Note : le nombre de pastilles, la(les) zone(s) à tester sont à définir avec le maître d'œuvre		Rendre compte au maitre d'œuvre/contrôleur technique pour arbitrage : - nouveau mesurage, - décapage puis reconstitution du béton de surface (NF P 95101, DTU 42.1)
Plan de pose des renforts disponible avec type de renforts PRFC, nombre de couches, espacement entre renforts, longueur des renforts,		Obtenir document auprès du bureau d'études d'exécution
Liste du Matériel et EPI disponibles pour tout le personnel		Obtenir information auprès de l'encadrement de chantier
Conditions de stockage et de conservation des produits conformément aux Notices produits (à l'abri du soleil, de la pluie, température 10 à 20 °C recommandée)		Mise en stockage conforme

## Fiche N° 2 - contrôles lors de la mise en œuvre des lamelles Sika CarboDur

Entreprise : ..... Date : .....  
 Référence chantier : .....  
 Type de structure à renforcer (poutre, dalle, poteau) : .....  
 Nature du support : .....  
 Localisation de l'application (référence, plan, étage, ...) : .....  
 .....  
 Nature du renfort utilisé (référence lamelle) : exemple CarboDur S512 .....  
 N° de lot des produits (lamelle, colle Sikadur-30) : .....  
 Nom de la personne chargée du contrôle interne : .....

Éléments à contrôler	conforme Oui / Non	Actions correctives
Absence de pluie, de gel, de poussière, sur l'élément à renforcer et la zone de travail		Attente des conditions favorables ou mise en œuvre de mesures de protection de la zone de travail pour être à l'abri.
Vérification des conditions de température : support / ambiance/ produits température : +8°C / +35°C (idéal : ≈ 20°C)		Attente des conditions favorables ou mise en œuvre de mesures (réchauffement ou refroidissement) pour être à l'abri. Stocker les produits dans un local à température contrôlée
Contrôle du risque de condensation (voir méthode en annexe 1) Mesurage de la température ambiante, du taux d'humidité relative, de la température de surface du support Temp. de surface du support > Temp. point rosée + 3°C		Voir §8.3 Conditions générales d'application. • Attente des conditions favorables ou mise en œuvre de mesures : réchauffer le support et l'air ambiant et/ou abaisser l'humidité de l'air (déshumidifier).
Liste du Matériel et EPI disponibles pour tout le personnel		Obtenir information auprès de l'encadrement de chantier
<b>Préparation de la Lamelle Sika CarboDur</b> - référence de la lamelle (exemple CarboDur S512) à appliquer : en accord avec le plan de pose - longueur de lamelle à découper suivant plan de pose - Lamelle en bon état pour le collage : absence de défaut sur la lamelle (cassure, fissure, ...) - Lamelle propre : absence de poussière, de résidu gras, ...		Remplacement de la lamelle, référence conforme au plan ou à la note de calcul  Dégraisser et nettoyer avec Nettoyant Sikadur
<b>Préparation de la colle Sikadur-30</b> Mélange des composants de la colle sikadur pendant au moins 3 mn jusqu'à obtenir la consistance homogène, la couleur uniforme		Poursuivre le malaxage à vitesse ≤ 300 tr/mn avec l'hélice Sikadur adaptée
<b>Pose de la lamelle</b> - Repérage du positionnement : conforme au plan de pose - Encollage lamelle : sur une épaisseur 1 à 1,5 mm  - Encollage support : 1 mm environ  - Placage de la lamelle sur le support : exercer une légère pression de la main - Marouflage de la lamelle avec le rouleau Sika : reflux continu de la colle sur les bords de la lamelle  - Elimination du reflux de colle sur les bords avant durcissement  - Nettoyage de la lamelle avec chiffon humidifié avec Nettoyant Sikadur  Distance entre lamelles : suivant plan de pose		Voir plan de pose
		Régler épaisseur avec une boîte à encoller
		Régler épaisseur avec peigne ou taloche cranté
		Exercer une pression plus importante, rajout de colle si nécessaire
		Marouflage complémentaire, améliorer le double encollage support/lamelle
		Eliminer le reflux de colle
		Nettoyer la lamelle avec Nettoyant Sikadur
<b>Contrôle si prévu dans le cadre du marché :</b> - vérification de la résistance des colles durcies Sikadur-30, -330, -300 par mesurage de la dureté shore D sur échantillons prélevés, à l'aide d'un duromètre (après 2 j à 20°C, > 70). - Sur une (des) zone(s) témoin représentative(s) choisie(s) en accord avec le maître d'œuvre prévoir le collage de bandes de PRFC témoin qui feront après durcissement du collage ou du PRFC (généralement à échéance 7 jours à 20°C) l'objet d'essai d'adhérence par traction directe selon la norme NF EN 1542. Le nombre de pastilles est à définir avec le maître d'œuvre. Il faut noter que ces essais sont destructifs et ne permettent pas de compter sur le renfort, qui aura été testé, pour la résistance de la structure renforcée.		Vérifications du matériel de mélange, hélice de malaxage Sika, vitesse de malaxage, conditions de température et délai avant mesure des duretés.

**(Suite) Fiche N° 2 - contrôles lors de la mise en œuvre des lamelles Sika CarboDur**

<b>Cas de pose de lamelles juxtaposées</b> (la pose bord à bord sans espace libre n'est pas possible) Espace libre mini de 5 mm (généralement 1 cm) entre lamelle - pose de la lamelle juxtaposée : identique à la 1 <sup>ère</sup> lamelle		Respecter un espace libre d'au moins 5 mm entre lamelle pour permettre le reflux de la colle lors du marouflage
<b>Cas de pose de lamelles en superposition</b> - pose de la 1 <sup>ère</sup> couche de lamelle : comme indiqué ci-dessus - attendre le durcissement du collage de la 1 <sup>ère</sup> lamelle : - préparation de la 2 <sup>ème</sup> lamelle à superposer : identique à la 1 <sup>ère</sup> lamelle - pose de la 2 <sup>ème</sup> couche de lamelle : identique à la 1 <sup>ère</sup> lamelle		Attendre le durcissement du collage de la 1 <sup>ère</sup> lamelle avant de poser la 2 <sup>ème</sup> lamelle
<b>Cas de pose de lamelles croisées</b> - pose de la 1 <sup>ère</sup> couche de lamelle : comme indiqué ci-dessus - au droit du croisement, rattraper l'épaisseur de la 1 <sup>ère</sup> lamelle avec Sikadur-30 appliqué en sifflet - attendre le durcissement du collage de la 1 <sup>ère</sup> lamelle : - préparation de la 2 <sup>ème</sup> lamelle à croiser : identique à la 1 <sup>ère</sup> lamelle - pose de la 2 <sup>ème</sup> lamelle croisée : identique à la 1 <sup>ère</sup> lamelle		
Contrôle après durcissement du collage des lamelles : - absence de vides, collage continu sur la surface de la lamelle		décider avec le maître d'œuvre des actions à mener (aucune action, ou repérage des vides et injection, ou réfection). Arbitrage en fonction de l'importance des vides rencontrés et des risques.
Ou si cela est prévu dans le cadre du marché, contrôle pendant le marouflage de la lamelle par une société spécialisée pour vérifier l'absence de vides par thermographie infrarouge.		

### Fiche N° 3 - contrôles lors de la mise en œuvre du tissu SikaWrap-230 C

Entreprise : ..... Date : .....  
 Référence chantier : .....  
 Type de structure à renforcer (poutre, poteau) : .....  
 Nature du support : .....  
 Localisation de l'application (référence, plan, étage, ...) : .....  
 .....  
 Nature du renfort utilisé (référence du tissu) : exemple SikaWrap-230 C largeur 300 mm .....  
 N° de lot des produits (tissu, colle Sikadur-330) : .....  
 Nom de la personne chargée du contrôle interne : .....

Éléments à contrôler	conforme Oui / Non	Actions correctives
Absence de pluie, de gel, de poussière sur l'élément à renforcer et la zone de travail		Attente des conditions favorables ou mise en œuvre de mesures de protection de la zone de travail pour être à l'abri.
Vérification des conditions de température : support / ambiance/ produits température : +10°C / +35°C (idéal : ≈ 20°C)		Attente des conditions favorables ou mise en œuvre de mesures (réchauffement ou refroidissement) pour être à l'abri. Stocker les produits dans un local à température contrôlée
Contrôle du risque de condensation (voir méthode en annexe 1) Mesurage de la température ambiante, du taux d'humidité relative, de la température de surface du support		Voir §8.3 Conditions générales d'application. Attente des conditions favorables ou mise en œuvre de mesures : réchauffer le support et l'air ambiant et/ou abaisser l'humidité de l'air (déshumidifier).
Liste du Matériel et EPI disponibles pour tout le personnel		Obtenir information auprès de l'encadrement de chantier
<b>Préparation du tissu SikaWrap-230 C</b> - référence SikaWrap-230 C en accord avec le plan de pose - longueur et largeur du tissu suivant plan de pose - tissu en bon état pour le collage : aspect, tissage, absence de défaut, tissu à plat ou enroulé (non plié), tissu non effiloché, - aspect : non souillé, absence de poussière, de résidu gras, d'eau, ...		Remplacement de la lamelle, référence conforme au plan ou à la note de calcul  Découper une autre bande de tissu
<b>Préparation de la colle Sikadur-330</b> Mélange des composants de la colle sikadur pendant au moins 3 mn jusqu'à obtenir consistance homogène, couleur uniforme		Poursuivre le malaxage à vitesse ≤ 300 tr/mn avec l'hélice Sikadur adaptée
<b>Pose du tissu : méthode à sec sans imprégnation préalable du tissu</b> - Repérage du positionnement sur le support : conforme au plan de pose		Voir plan de pose
- Encollage du support : quantité suffisante pour imprégner le tissu lors du marouflage		Régler quantité de colle pour imprégner le tissu avec la colle déposée sur le support
- placage du tissu sur le support encollé : tissu tendu		Éliminer les plis, les fibres doivent être alignées
- Marouflage du tissu avec rouleau Sika dans le sens longitudinal des fibres : composite homogène, sans bulle d'air, sans plis		Éliminer les bulles d'air et les plis, marouflage complémentaire
<b>Cas de superposition de couches de tissu</b> Immédiatement après l'application de la 1ere couche - Application d'une couche de colle sikadur-330 sur la 1ere couche de tissu déjà en place - Placage du tissu et marouflage comme ci-dessus		Si temps d'attente > 1h attendre 12 h au moins avant d'appliquer une nouvelle couche de tissu. Si l'application est faite après plus de 24 h d'attente, prévoir au préalable un léger ponçage, dépoussiérage et nettoyage avant d'appliquer la colle sur la 1ere couche de tissu déjà en place

## Fiche N° 4 - contrôles lors de la mise en œuvre du tissu SikaWrap-600 C

Entreprise : ..... Date : .....  
 Référence chantier : .....  
 Type de structure à renforcer (poutre, poteau) : .....  
 Nature du support : .....  
 Localisation de l'application (référence, plan, étage, ...) : .....  
 .....  
 Nature du renfort utilisé (référence du tissu) : exemple SikaWrap-600 C largeur 300 mm .....  
 N° de lot des produits (tissu, colle Sikadur-300) : .....  
 Nom de la personne chargée du contrôle interne : .....

Éléments à contrôler	conforme Oui / Non	Actions correctives
Absence de pluie, de gel, de poussières sur la zone de travail		Attente des conditions favorables ou mise en œuvre de mesures de protection de la zone de travail pour être à l'abri.
Vérification des conditions de température : support / ambiance/ produits température : +15°C / +40°C (idéal : ≈ 20°C)		Attente des conditions favorables ou mise en œuvre de mesures (réchauffement ou refroidissement) pour être à l'abri. Stocker les produits dans un local à température contrôlée
Contrôle du risque de condensation (voir méthode en annexe 1) Mesurage de la température ambiante, du taux d'humidité relative, de la température de surface du support		Voir §8.3 Conditions générales d'application. Attente des conditions favorables ou mise en œuvre de mesures : réchauffer le support et l'air ambiant et/ou abaisser l'humidité de l'air (déshumidifier).
Liste du Matériel et EPI disponibles pour tout le personnel		Obtenir information auprès de l'encadrement de chantier
Cas du confinement de poteau		
Angles de poteau arrondis conformément au plan ou à la note de calcul		Arrondir les angles conformément au plan ou note de calcul, par ponçage
Cas de poutres à renforcer à l'effort tranchant		
Angles de poutre arrondis		Angles à arrondir par ponçage
<b>Préparation du tissu SikaWrap-600 C</b> - référence SikaWrap-600 C en accord avec le plan de pose - longueur et largeur du tissu suivant plan de pose - tissu en bon état pour le collage : aspect, tissage, absence de défaut, tissu à plat ou enroulé (non plié), tissu non effiloché, - aspect : non souillé, absence de poussière, de résidu gras, d'eau, ...		Remplacement de la lamelle, référence conforme au plan ou à la note de calcul  Découper une autre bande de tissu
<b>Préparation de la colle Sikadur-300</b> Mélange des composants de la colle sikadur pendant au moins 3 mn jusqu'à obtenir consistance homogène, couleur uniforme		Poursuivre le malaxage à vitesse ≤ 300 tr/mn avec l'hélice Sikadur adaptée
<b>Pose du tissu</b> : avec imprégnation préalable du tissu - Repérage du positionnement sur le support : conforme au plan de pose - Imprégnation complète du tissu sur un plan de travail		Voir plan de pose
- Encollage complet du support avec Sikadur-300 (ou Sikadur-330 si support rugueux – voir § 7.44 Mise en œuvre)		Ajouter de la colle Sikadur pour assurer l'imprégnation complète du tissu
- placage du tissu sur le support encollé : tissu tendu		Imprégner à nouveau le support
- Marouflage du tissu avec rouleau Sika dans le sens longitudinal des fibres : composite homogène, sans bulle d'air, sans plis		Eliminer les plis, les fibres doivent être alignées
		Eliminer les bulles d'air et les plis, marouflage complémentaire
<b>Cas de superposition de couches de tissu</b> Immédiatement après l'application de la 1ere couche - Application d'une couche de colle sikadur-300 sur la 1ere couche de tissu déjà en place - Placage du tissu et marouflage comme ci-dessus		Si temps d'attente > 1h attendre 12 h au moins avant d'appliquer une nouvelle couche de tissu. Si l'application est faite après plus de 24 h d'attente, prévoir au préalable un léger ponçage, dépoussiérage et nettoyage avant d'appliquer la colle sur la 1ere couche de tissu déjà en place