

Sur le procédé

---

## Sika CarboDur

---

**Titulaire :** Société SIKA France  
Internet : fra.sika.com

**Descripteur :**

Procédé de renforcement d'éléments de structure, consistant à coller sur la surface des éléments visés 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.

Le procédé Sika CarboDur peut être associé au procédé SikaWrap qui fait l'objet d'un Avis Technique en cours de validité.

**Groupe Spécialisé n° 3.3** - Structures tridimensionnelles, ouvrages de fondation et d'infrastructure

**Famille de produit/Procédé :** Renforcement d'éléments de structure par collage de plaques ou plats composites

## AVANT-PROPOS

Les Avis Techniques et les Documents Techniques d'Application sont destinés à mettre à disposition des acteurs de la construction des éléments d'appréciation sur la façon de concevoir et de construire des ouvrages au moyen de produits ou procédés de construction dont la constitution ou l'emploi ne relèvent pas des savoir-faire et pratiques traditionnels.

Au terme d'une évaluation collective, l'avis technique de la commission se prononce sur l'aptitude à l'emploi des produits ou procédés relativement aux exigences réglementaires et d'usage auxquelles l'ouvrage à construire doit normalement satisfaire.

## Versions du document

Version	Description	Rapporteur	Président
V2	Il s'agit de la révision de l'Avis Technique 3.3/20-1021_V1.	Loïc PAYET	Roseline BERNARDIN-EZRAN

## Table des matières

1.	Avis du Groupe Spécialisé .....	5
1.1.	Définition succincte .....	5
1.1.1.	Description succincte .....	5
1.1.2.	Identification .....	5
1.2.	AVIS.....	5
1.2.1.	Domaine d'emploi accepté.....	5
1.2.2.	Appréciation sur le procédé .....	6
1.2.3.	Prescriptions Techniques .....	7
1.3.	Remarques complémentaires du Groupe Spécialisé .....	8
2.	Dossier Technique.....	9
2.1.	Données commerciales .....	9
2.1.1.	Coordonnées .....	9
2.2.	Description.....	9
2.3.	Domaine d'emploi .....	9
2.3.1.	Objectifs du renforcement : .....	9
2.3.2.	Zones géographiques d'utilisation.....	9
2.4.	Eléments et matériaux.....	9
2.4.1.	Procédé Sika CarboDur .....	9
2.4.2.	Produits complémentaires .....	12
2.5.	Fabrication .....	13
2.6.	Contrôles de fabrication .....	13
2.7.	Identification du produit.....	13
2.8.	Renforcement en flexion par le procédé Sika CarboDur suivant les règles AFGC – BAEL / BPEL .....	14
2.8.1.	Généralités.....	14
2.8.2.	Loi de comportement de la lamelle Sika CarboDur .....	14
2.8.3.	Dimensionnement des renforts pour les structures en béton armé suivant le BAEL 91 révisé 99 .....	14
2.8.4.	Dimensionnement des renforts pour les structures en béton précontraint suivant le BPEL 91 .....	17
2.9.	Dimensionnement en flexion du procédé Sika CarboDur suivant le référentiel TR55 – NF EN 1992-1-1.....	19
2.9.1.	Généralités.....	19
2.9.2.	Notations .....	19
2.9.3.	Lois de comportement des matériaux.....	20
2.9.4.	Règles communes pour le dimensionnement du renforcement de structures en béton armé suivant le référentiel TR55 – NF EN 1992-1-1.....	22
2.9.5.	Cas des renforts collés : Lamelles Sika CarboDur S et M.....	23
2.9.6.	Dimensionnement des renforts pour les structures béton précontraint .....	25
2.10.	Fourniture et assistance technique .....	26
2.10.1.	Qualification de l'entreprise applicatrice des procédés Sika CarboDur .....	26
2.10.2.	Démarrage de chantier.....	26
2.10.3.	Logiciel Sika CarboDur .....	26
2.11.	Mise en œuvre.....	26
2.11.1.	Généralités .....	26
2.11.2.	Préparation du support pour renforts PRFC collés en surface (lamelles) .....	27
2.11.3.	Conditions générales d'application .....	27
2.11.4.	Méthodologie de mise en œuvre .....	28
2.11.5.	Prescriptions de mise en œuvre particulières aux lamelles Sika CarboDur collées en surface .....	28
2.12.	Finition et Protection des procédés Sika CarboDur .....	31

2.12.1.	Protection anti UV, esthétique, température en service .....	31
2.12.2.	Protection / contact avec l'eau .....	31
2.12.3.	Protection vis-à-vis des chocs, usures, abrasion .....	31
2.12.4.	Protection au feu des renforts PRFC (Stabilité au feu des structures à renforcer) ou Protection contre températures élevées.....	31
2.12.5.	Protection contre la corrosion.....	31
2.12.6.	Protection mécanique et / ou sous étanchéité à chaud .....	32
2.13.	Contrôle des travaux .....	32
2.13.1.	Contrôles avant la mise en œuvre (voir paragraphe 2.11) .....	32
2.13.2.	Contrôle lors la mise en œuvre.....	32
2.14.	Résultats expérimentaux.....	32
2.15.	Références .....	33
2.15.1.	Données Environnementales .....	33
2.15.2.	Autres références .....	33
2.16.	Annexes du Dossier Technique.....	34
2.16.1.	Annexe 1 - CONTRÔLE DU RISQUE DE CONDENSATION SUR LE SUPPORT .....	34
2.16.2.	Annexe 2 – FICHES DE CONTROLE INTERNE A L'ENTREPRISE .....	36

# 1. Avis du Groupe Spécialisé

Le Groupe Spécialisé n° 3.3 - Structures tridimensionnelles, ouvrages de fondation et d'infrastructure de la Commission chargée de formuler les Avis Techniques a examiné, le 13 juillet 2022, le procédé **Sika CarboDur**, présenté par la Société Sika France. Il a formulé, sur ce procédé, l'Avis Technique ci-après. L'avis a été formulé pour les utilisations en France métropolitaine et les DROM-COM.

---

## 1.1. Définition succincte

### 1.1.1. Description succincte

Procédé de renforcement d'éléments de structure, consistant à coller sur la surface des éléments visés 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.

Le procédé Sika CarboDur peut être associé au procédé SikaWrap qui fait l'objet d'un Avis Technique en cours de validité.

### 1.1.2. Identification

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

- Lamelles 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 respectifs de 6 kg. Chaque kit est identifié par un numéro de lot imprimé sur l'étiquette.

---

## 1.2. 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.

Cet Avis ne vaut que si :

- Le dimensionnement est réalisé par un bureau d'étude spécialisé dans le calcul de renforcement de structure.
- Les entreprises applicatrices de ce procédé de renforcement ont reçu une formation pratique et théorique délivrée par le Titulaire.

### 1.2.1. Domaine d'emploi accepté

L'Avis n'est valable que si la température de la résine, et celle du support au niveau du collage, n'excèdent pas les températures en service continu (supérieure à 24 h) et en pointe (pendant 24h) indiquées dans le Dossier Technique.

Le domaine d'emploi accepté par le Groupe Spécialisé n°3.3 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.
- En béton précontraint.

Le procédé Sika CarboDur n'est utilisé que pour le renforcement en flexion.

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'augmentation des capacités résistantes par les procédés de renforcement est limitée aux 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.

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.

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

Le renforcement structurel des radiers est visé.

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 associées à la résine Sikadur 30.

Les Prescriptions Techniques (paragraphe 1.2.3 du présent Avis) précise les conditions dans lesquels le renforcement par le procédé Sika CarboDur peut être envisagé.

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

## 1.2.2. Appréciation sur le procédé

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

#### 1.2.2.1.1. 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 1.2.3 du présent Avis.

#### 1.2.2.1.2. Sécurité en cas d'incendie

##### Réaction au feu

En l'absence de Procès-Verbal de réaction au feu, le procédé de renforcement Sika CarboDur est non classé.

##### Résistance au feu

En ce qui concerne la résistance au feu, le procédé Sika CarboDur 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.

#### 1.2.2.1.3. Prévention des accidents lors de la mise en œuvre

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.

#### 1.2.2.1.4. Pose en zones sismiques

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.

#### 1.2.2.1.5. Données environnementales

Le procédé Sika CarboDur 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.

#### 1.2.2.1.6. 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.

### 1.2.2.2. Durabilité - Entretien

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

- Atmosphère agressive (type solvant) ;
- Atmosphère maritime ;
- Environnement avec sels de déverglaçage ;
- Lorsque la température est susceptible de dépasser la température de pointe indiquée au paragraphe 1.2.1 (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.

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

### 1.2.2.3. Fabrication et contrôle

La fabrication des lamelles et de la colle, font l'objet d'un plan d'assurance-qualité dans l'usine concernée et d'un suivi de production comme indiqué au Dossier Technique.

### 1.2.2.4. Finition

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.

Dans le cas d'une utilisation du procédé de renforcement en face supérieure des dalles, le système de renforcement doit être protégé par un mortier.

### 1.2.3. Prescriptions Techniques

Le renforcement des éléments de structure peut induire la nécessité d'une reprise en sous œuvre des fondations, due aux majorations ou aux redistributions des efforts dans les éléments porteurs ou de remplissage en maçonnerie.

#### 1.2.3.1. Conditions de conception

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

Sika met à la disposition des calculateurs un logiciel de dimensionnement Sika CarboDur développé en interne. La responsabilité des résultats et donc de la structure du logiciel revient au Titulaire. Toutefois, le bureau d'étude structure utilisateur du logiciel reste responsable de la bonne utilisation du logiciel suivant le cahier des charges fourni et de la définition des hypothèses et des données d'entrée.

##### 1.2.3.1.1. 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)  $G + Q_1 + \sum \psi_{oi} Q_i$ , où  $G$  représente la sollicitation due à la charge permanente et  $\sum \psi_{oi} Q_i$  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 :

- $R_1$  : capacité résistante à l'ELU, en situation fondamentale, de l'élément non renforcé.
- $S_2$  : sollicitation agissante à l'ELU, en situation fondamentale, sur l'élément renforcé.

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

Le dimensionnement du renforcement des éléments en béton armé par le procédé Sika CarboDur est effectué selon les règles BAEL 91 rev 99 (Recommandations de l'AFGC de 2003 révisées 2007) ou les règles Eurocodes (Référentiel TR 55 de la Concrete Society 2012 dont la méthodologie de calcul est décrite dans le Dossier Technique) suivant les DPM précisant le référentiel à prendre en compte.

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, sur les contraintes à rupture du composite, les coefficients de sécurité donnés aux paragraphes §2.8 (Dimensionnement suivant le BAEL) et §2.7 (Dimensionnement suivant le TR 55) du Dossier Technique.

Pour cette justification, il y a lieu de limiter la contrainte finale dans les armatures tendues existantes, la contrainte de compression du béton et la contrainte du composite tel que décrit dans le Dossier Technique établi par le demandeur aux paragraphes §5 ou §6 du Dossier Technique en fonction de la méthodologie de dimensionnement.

Par ailleurs, il y a lieu de limiter la contrainte finale ELS dans le composite à la valeur  $\sigma_{f,lim} = \min(0,9\sigma_{s,lim}, 0,65f_{fd})$  avec  $\sigma_{s,lim}$  la contrainte de traction des aciers et  $f_{fd}$  la résistance ultime du composite définie au §2.7.3.3 du Dossier Technique.

**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 conformément aux indications données au paragraphe §2.8 ou §2.7 du Dossier Technique en fonction de la méthodologie de dimensionnement.

**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  $f_{tk}$  obtenue par les essais de pastillage :

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

Dans tous les cas, le procédé Sika CarboDur n'est pas applicable si les essais de pastillage donnent une valeur de  $f_{tk}$  inférieure à 1,5 MPa.

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

Le dimensionnement du renforcement des éléments en béton précontraint par le procédé Sika CarboDur est effectué selon les règles BPEL 91 rev 99 (Recommandations de l'AFGC de 2003 révisées 2007) ou les règles Eurocodes (Référentiel TR 55 de la Concrete Society de 2012 dont la méthodologie de calcul est décrite dans le Dossier Technique) suivant les DPM précisant le référentiel à prendre en compte.

Les méthodes utilisées sont décrites aux paragraphes §2.6.4 ou §2.7.6 du Dossier Technique, en fonction du référentiel de dimensionnement adopté (BPEL 91 rev 99 ou TR 55). 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 y a lieu de limiter la contrainte de traction à  $0,8 f_{pk}$  dans les armatures de précontrainte (cas de la précontrainte adhérente) sous combinaison caractéristique.
- 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.

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

En cas d'utilisation du procédé Sika CarboDur 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 :

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

### 1.2.3.2. 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. Le cahier de charges fourni par le Titulaire lors de la formation des entreprises applicatrices doit intégrer l'ensemble des essais et contrôles prescrits dans le présent document.

### Appréciation globale

L'utilisation du procédé dans le domaine d'emploi accepté (cf. paragraphe 1.2.1) est appréciée favorablement.

## 1.3. Remarques complémentaires du Groupe Spécialisé

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.

L'attention est attirée sur le fait que les règles AFGC relatives aux éléments renforcés par composites fixent une température minimale de service continu de -20°C.

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.

Enfin, il est précisé que les entreprises spécialisées dans la mise en œuvre du procédé doivent fournir, pour chaque chantier, les fiches d'auto-contrôle données dans le Dossier Technique, dûment complétées, notamment pour ce qui concerne les conditions de réticulation qui sont fondamentales pour le bon fonctionnement du procédé.



## 2. Dossier Technique

Issu du dossier établi par le titulaire

---

### 2.1. Données commerciales

#### 2.1.1. Coordonnées

Titulaire(s) :

Société SIKA France

84, rue Edouard Vaillant

FR – 93350 LE BOURGET

Tél. : 01 49 92 80 00

Email : hotline@fr.sika.com

Internet : fra.sika.com

---

### 2.2. Description

Le procédé Sika CarboDur est utilisé pour la réparation et le renforcement structural des structures par collage d'armatures additionnelles PRFC (Polymères Renforcés de Fibres de Carbone). Il est adapté 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 noyée dans une matrice de résine époxy : les lamelles sont collées en surface du béton et sont associées à une colle structurale Sikadur-30.

Ce procédé est essentiellement utilisé en tant que renfort d'éléments de structures travaillant en flexion.

Sika met à disposition des bureaux d'études structures un logiciel d'aide au calcul Sika CarboDur, développé en interne, avec le choix entre plusieurs codes de calcul (suivant les restrictions régionales), et utilisé dans presque 100 pays à travers le monde depuis 2015. Le bureau d'études utilisateur du logiciel reste responsable de sa bonne utilisation suivant le cahier des charges fourni, de la définition des hypothèses et des données d'entrée ainsi que de l'interprétation des résultats.

Le procédé Sika CarboDur peut être associé au procédé SikaWrap qui fait l'objet d'un Avis Technique en cours de validité.

---

### 2.3. 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.

#### 2.3.1. Objectifs du renforcement :

- Accroître la résistance à la flexion (moments positifs et négatifs).

Ce procédé est particulièrement adapté 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 de la résistance en flexion de l'élément support.

Le procédé Sika CarboDur n'est pas utilisable dans les cas suivants :

- Température du support excédant les valeurs ci-dessous :
  - 45°C en pointe et 35°C en continu pour les lamelles Sika CarboDur associées à la résine Sikadur-30 ;
- Support ruisselant ;
- Support en béton présentant une valeur moyenne d'adhérence obtenue par essais de pastillage inférieure à 1,5 MPa.

#### 2.3.2. Zones géographiques d'utilisation

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

---

### 2.4. Eléments et matériaux

#### 2.4.1. Procédé Sika CarboDur

Le renforcement en flexion d'éléments d'ouvrages en béton armé par PRFC est réalisé par collage des lamelles Sika CarboDur en sous-face d'éléments (zones tendues en moments positifs), mais également si besoin en parties supérieures (reprise

moments négatifs sur appuis, radiers). Le domaine d'emploi de ces lamelles regroupe les poutres, les dalles, les planchers (poutrelles), etc.

#### 2.4.1.1. 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.

Les lamelles sont composées 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 = 170 000MPa
  - Type M : E = 210 000MPa
- Le type le plus couramment utilisé est le type S

**Tableau 1 : Dimensions et propriétés des lamelles Sika CarboDur S et Sika CarboDur M**

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.

#### 2.4.1.2. 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.

**Tableau 2 : Propriétés de la colle époxydique Sikadur-30**

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		
	Temps de durcissement	+15 °C	+35 °C
	1 jour	3 -5	15-18
	3 jours	13-16	16-19
	7 jours	14-17	16-19
	18 MPa (7 jours à +23°C) (selon la norme DIN 53283)		
Résistance en traction en MPa	(Selon la norme DIN 53455)		
	Température de durcissement		
	Temps de durcissement	+15 °C	+35 °C
	1 jour	18 - 21	23-28
	3 jours	21 - 24	25-30
7 jours	24 - 27	26-31	
Dureté Shore D	≥ 70 (après 48 h à 23°C)		
Adhérence	Adhérence sur béton > 4 MPa avec rupture dans le support (procédure de la FIP)		
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)		

#### 2.4.1.3. 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.

##### 2.4.1.3.1. 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.

##### 2.4.1.3.2. 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 BétonColor). 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)

##### 2.4.1.3.3. 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).

#### 2.4.1.3.4. 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 LGCIÉ de L'Université de Lyon 1.

**Tableau 3 : Propriétés mécaniques avant et après essai de vieillissement accéléré**

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

## 2.4.2. Produits complémentaires

Les gammes de produits Sika permettent de répondre sur l'ensemble des travaux complémentaires au renforcement sur un chantier, que ce soit en réparation préalable, en préparation du support ou encore en finition.

### 2.4.2.1. Réparation / Préparation du support

#### Sikadur-52 Injection

- Résine époxydique à deux composants sans solvant.
- Elle est utilisée pour injecter les fissures du support avant le renforcement.
- Conforme à la norme NF EN 1504-5.

#### Sikadur-53

- Résine époxydique à deux composants sans solvant.
- Elle est utilisée pour injecter les fissures du support avant le renforcement.
- Conforme aux normes NF EN 1504-4, 5 et 6.

#### Sikadur-41 EF

- Mortier époxydique à trois composants (résine, durcisseur, charges)
- Il est utilisé pour les ragréages et surfacages localisés du support.
- Conforme à la norme NF EN 1504-3.

#### Sikadur-30

- Pâte époxydique de ragréage bi composant.
- Permet les réparations sur de faibles épaisseurs.
- Conforme à la norme NF EN 1504-4.

#### Sika MonoTop-412 N, -410 R

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

### 2.4.2.2. Produits de finition

#### 2.4.2.2.1. Nettoyage

##### Nettoyant Sikadur

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

### 2.4.2.3. Revêtements de protection circulables

#### Sika FastFix 134 TP

- Mortier de réparation du béton, classe R4 selon norme NF EN 1504-3, mono composant.
- Il est utilisé pour le reprofilage de dalles, voies de circulation.

**Sikafloor-400 N Elastic**

- Résine polyuréthane solvantée mono composant colorée.
- Revêtement d'étanchéité circulaire.
- Conforme à la norme NF EN 1504-2.

**Sikafloor-264**

- Résine époxydique colorée polyvalente.
- Protection des sols à trafics moyens.

Conforme à la norme NF EN 1504-2.

**2.4.2.3.1. Revêtements de protection base Polymères – gamme Sikagard**

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

**Sikagard-675 W ElastoColor**

- Revêtement acrylique en phase aqueuse.
- Faible temps de recouvrement entre couches.
- Conforme à la norme NF EN 1504-2.

**Sikagard-550 W Elastic**

- Revêtement acrylique élastique en phase aqueuse.
- Souplesse pour le pontage de fissures.
- Conforme à la norme NF EN 1504-2.

**Sikagard-680 S BetonColor**

- Revêtement acrylique en phase solvant.
- Protection hautes performances (CO2 et agents agressifs, chlorures marins, etc).
- Conforme à la norme NF EN 1504-2.

**2.4.2.3.2. Revêtements de protection base ciment – gamme SikaTop****SikaTop-107 Protection**

- Micro-mortier à base de liant hydraulique destiné à recouvrir les lamelles Sika CarboDur.
- Couleur : gris ou blanc
- Protection vis-à-vis des rayons solaires directs, des ambiances environnementales agressives.
- Conforme à la norme NF EN 1504-2.

**SikaTop-121 Surfaçage**

- Mortier de surfaçage à base de liant hydraulique modifié destiné à recouvrir les lamelles Sika CarboDur.
- Couleur : gris ou blanc
- Protection vis-à-vis des rayons solaires directs, des ambiances environnementales agressives.
- Conforme à la norme NF EN 1504-2 et 3.

---

**2.5. Fabrication**

---

**2.5.1. 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 CH18/1439.00 délivré par l'organisme accrédité SGS).

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.

L'Avis Technique du procédé Sika CarboDur fait l'objet d'un suivi des contrôles de caractéristiques des différents composants réalisé dans le cadre de procédures internes d'autocontrôle et d'un contrôle externe une fois par an par le CSTB sur la base du référentiel « Document Technique – Renforcement des structures par collage de matériaux composites » du 22/07/2021.

**2.5.2. 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° X 06 18 J 03) et la désignation de la lamelle sont imprimés à intervalles réguliers sur une des faces de la lamelle (tous les 2 mètres environ).

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

## 2.6. Renforcement en flexion par le procédé Sika CarboDur suivant les règles AFGC – BAEL / BPEL

### 2.6.1. Généralités

Le dimensionnement du renforcement des structures de béton armé et de béton précontraint par les procédés Sika CarboDur 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.

### 2.6.2. Loi de comportement de la lamelle Sika CarboDur

*Caractéristiques en traction pour les composites unidirectionnels selon recommandations AFGC 2003(rev. 2007) :*

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

$$f_{fud} = 0,65 \frac{f_{fu}}{\gamma_{fd(ELU)}}$$

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

$$f_{fd} = 0,65 \frac{f_{fu}}{\gamma_{fd(ELS)}}$$

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.

**Tableau 4 : Coefficients de sécurité pour les lamelles à l'ELU et à l'ELS selon l'AFGC 2007**

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

**Tableau 5 : Propriétés mécaniques de calcul des lamelles Sika CarboDur S et M**

	Type S	Type M
Module d'élasticité $E_f$	170000 MPa	210 000 MPa
Résistance en traction moyenne $f_{fu}$	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 $\varepsilon_{fud}$	0,85%	0,8%

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

#### 2.6.3.1. 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  $f_e$ .

#### 2.6.3.2. 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.

##### 2.6.3.2.1. Le béton

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

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

### 2.6.3.2.2. 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 :

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

### 2.6.3.2.3. La Lamelle Sika CarboDur

La lamelle Sika CarboDur est caractérisée par sa résistance de calcul  $f_{fud}$  et par son diagramme de calcul linéaire défini avec les propriétés affichées sur le Tableau 5 paragraphe §2.6.2.

**Tableau 6 : Résistances de calcul ELU des lamelles Sika CarboDur S et M**

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

On retient la valeur approchée du bras de levier :

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

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  $y_u$ . Cette dernière 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 :

**Tableau 7 : Dimensions des lamelles Sika CarboDur S et Sika CarboDur M**

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.**

### 2.6.3.3. 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 sous combinaison rare soient respectées :

Béton	$\sigma_{b,lim} \textcircled{1} + \textcircled{2} \leq 0,6 \cdot f_{c28}$
Armatures acier* (fissuration peu préjudiciable)	$\sigma_{s,lim} \textcircled{1} + \textcircled{2} \leq f_e$
Lamelle Sika CarboDur type S et M	$\sigma_{f,lim} = \min\{\sigma_{f,d}; 450 \text{ MPa}\}$

\*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 :

- 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.

### 2.6.3.4. Dispositions constructives

#### 2.6.3.4.1. 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.

#### 2.6.3.4.2. 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 §2.6.3.5 et 2.6.3.6.

#### 2.6.3.4.3. 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.

### 2.6.3.5. 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.

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

- $V_u$  : 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 ( $f_{tj}$  est la résistance caractéristique à la traction du support béton obtenue par les essais de pastillage).

$$\bar{\tau}_u = \text{Min} \left( 2 \text{ MPa}; \frac{f_{tj}}{1,5} \right)$$

### 2.6.3.6. 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 (2007).



### 2.6.3.6.1. 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  $F_{f,ELS}$  la valeur de cet effort.

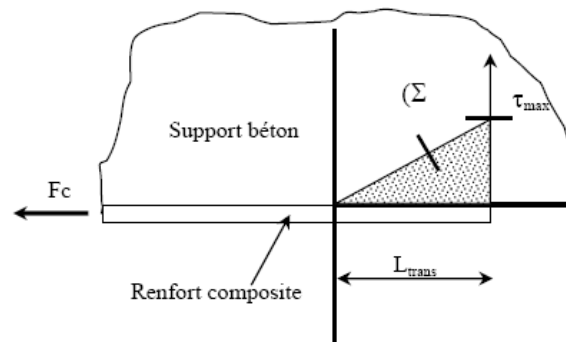


Figure 1 : Délaminage à l'extrémité du renfort

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 :

$$\tau_{max\ ELS} = \frac{F_{f,ELS}}{b_f L_{anc,d}} \leq \bar{\tau}_{ELS}$$

Avec :

- $l_{anc,d} = 20$  cm et  $b_f$  la largeur de la lamelle Sika CarboDur.
- $\bar{\tau}_{ELS}$ : contrainte limite de cisaillement à l'ELS.

Cette valeur est calculée à partir des essais de pastillage ( $f_{tj}$  est la résistance caractéristique à la traction du support béton obtenue par les essais de pastillage).

$$\bar{\tau}_{ELS} = \text{Min} (1,5 \text{ MPa}; \frac{f_{tj}}{2})$$

### 2.6.3.6.2. 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  $t_{f,ELU}$  cette épaisseur.

Soit  $F_{f,ELU}$  l'effort ultime correspondant dans le renfort :  $F_{f,ELU} = f_{fud} \cdot b_f \cdot t_{f,ELU}$  (pour un pivot D)

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

$$\tau_{max\ ELU} = \frac{F_{f,ELU}}{b_f L_{anc,d}} \leq \bar{\tau}_u$$

Avec :

- $l_{anc,d} = 20$  cm, et  $b_f$  la 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 ( $f_{tj}$  est la résistance caractéristique à la traction du support béton obtenue par les essais de pastillage).

$$\bar{\tau}_u = \text{Min} (2 \text{ MPa}; \frac{f_{tj}}{1,5})$$

## 2.6.4. 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).

### 2.6.4.1. 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 : ( $f_{tj} = 0$ )

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

- Sous combinaisons rares :  $f_{tj}$  dans la section d'enrobage ;  $1,5f_{tj}$  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 :

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

- Contrainte admissible pour les aciers passifs

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

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).

$$\text{- Sous combinaisons fréquentes : } 0,35 f_e$$

- Contrainte admissible pour les aciers de précontrainte : (exploitation)

- Sous combinaisons rares, la surtension dans les armatures de précontrainte est limitée à :

$$\circ 0,1f_{prg} \text{ pour la précontrainte adhérente par post-tension}$$

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

Avec :

$f_{prg}$  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)

- 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 :  $\sigma_f < \sigma_{flim}$ , avec  $\sigma_{flim} = 450$  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 :

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

Avec

- $B_t$  : aire de la partie du béton tendu
- $\sigma_{flim}$  : contrainte de traction admissible à l'ELS
- $N_{Bt}$  : résultante des contraintes de traction
- $\sigma_{Bt}$  : 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.

**2.6.4.2. 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 :

$$F_p = A_p \cdot E_p \cdot \Delta \cdot \frac{\varepsilon_p}{\gamma_p}$$

Avec  $\gamma_p = 1,15$

Effort dans la lamelle Sika CarboDur :

$$F_f = A_f \cdot E_f \cdot \frac{\varepsilon_f}{\gamma_f}$$

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.

## 2.7. Dimensionnement en flexion du procédé Sika CarboDur suivant le référentiel TR55 – NF EN 1992-1-1

### 2.7.1. Généralités

Il est conseillé de faire appel à un Bureau d'Etudes qualifié et expérimenté en calcul de structures pour réaliser le dimensionnement des renforts Sika.

Les hypothèses de calcul retenues sont :

- Les sections planes restent planes, et il n'y a pas de glissement relatif entre les armatures internes ou le renfort Sika CarboDur et le béton.
- La résistance en traction du béton est négligée.
- La résistance en compression du renfort Sika CarboDur est négligée.

Le dimensionnement est basé sur le référentiel Technical Report No 55 " Design Guidance for Strengthening Concrete Structures using Fibre composite materials ". Ce guide a été écrit pour être utilisé en conjonction avec l'Eurocode 0 : Bases de calcul des structures, et l'Eurocode 2 : Calcul des structures en béton.

Sika met à disposition des bureaux d'études structures un logiciel d'aide au calcul Sika CarboDur. Le bureau d'études utilisateur du logiciel reste responsable de sa bonne utilisation suivant le cahier des charges fourni, de la définition des hypothèses et des données d'entrée ainsi que de l'interprétation des résultats.

### 2.7.2. Notations

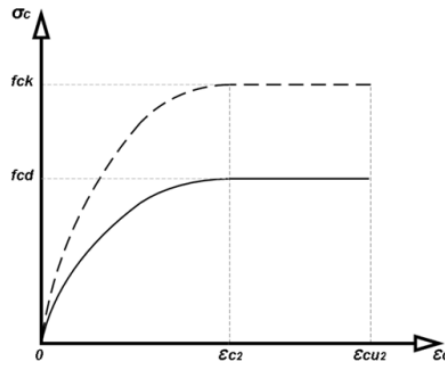
Béton	
$b$	Largeur de l'élément béton
$f_{ck}$	Résistance caractéristique du béton en compression
$f_{cd}$	Résistance de calcul du béton en compression
$f_{ctk}$	Résistance caractéristique du béton en traction
$\varepsilon_c$	Déformation du béton
$\varepsilon_{c2}$	Déformation du béton atteinte pour la contrainte de compression maximale
$\varepsilon_{cu2}$	Déformation ultime du béton en compression
$\sigma_c$	Contrainte de compression du béton
$\alpha_{cc}$	Coefficient tenant compte des effets à long terme sur la résistance en compression et des effets défavorables résultant de la manière dont la charge est appliquée
$\gamma_c$	Coefficient partiel de sécurité du béton
$M_{Rd}$	Moment résistant de la section béton armé
$M_{Ed}$	Moment ultime de calcul
$M_y$	Moment de la section renforcée pour lequel les armatures atteignent leur limite élastique
Acier	
$A_s$	Section d'armatures
$f_{yk}$	Résistance caractéristique des armatures en traction
$f_{yd}$	Résistance de calcul des armatures
$d$	Distance entre les aciers de traction et la fibre supérieure du béton
$\varepsilon_s$	Déformation des armatures

$\sigma_s$	Contrainte de traction des armatures
$E_s$	Module d'élasticité des armatures
$\gamma_s$	Coefficient partiel de sécurité de l'acier
$z$	Bras de levier
<b>Composite</b>	
$A_f$	Section du renfort carbone
$b_f$	Largeur du composite
$f_{fk}$	Résistance caractéristique du composite en traction
$f_{fd}$	Résistance de calcul du composite en traction
$E_{fk}$	Module d'élasticité caractéristique du composite
$E_{fd}$	Module d'élasticité de calcul du composite
$\varepsilon_{fk}$	Déformation caractéristique du composite en traction
$\varepsilon_{fd}$	Déformation de calcul du composite en traction
$\varepsilon_{mt}$	Déformation maximale du composite dans la zone élastique
$\varepsilon_{fmax}$	Déformation du composite au moment ultime de calcul
$\gamma_{FRP,E}$	Coefficient partiel de sécurité sur le module d'élasticité du composite
$\gamma_{FRP,m}$	Coefficient partiel de sécurité additionnel relatif au processus de fabrication du composite
$\gamma_{FRP,\varepsilon}$	Coefficient partiel de sécurité sur la déformation du composite
$M_{add}$	Moment additionnel
$\sigma_{fmax}$	Contrainte dans le composite au moment ultime de calcul
$\sigma_{fy}$	Contrainte dans le composite pour laquelle les armatures atteignent leur limite élastique
$t_f$	Epaisseur du composite
<b>Interface composite/béton</b>	
$k_b$	Coefficient sur la force de collage
$l_t$	Longueur d'ancrage
$l_{t,max}$	Longueur d'ancrage maximale
$T_d$	Effort dans le composite
$T_k$	Effort de décollement
$T_{k,max}$	Effort maximal de décollement
$\tau_t$	Contrainte de cisaillement longitudinale dans le composite
$\tau_{lim,y}$	Contrainte de cisaillement limite
$\tau_m$	Contrainte moyenne de cisaillement
$\tau_{sc}$	Contrainte additionnelle de cisaillement
$\Delta x$	Longueur entre la position du moment maximum et le moment pour lequel les armatures atteignent leur limite élastique

### 2.7.3. Lois de comportement des matériaux

#### 2.7.3.1. Loi de comportement du béton

Les valeurs de calculs dans la section de béton sont déterminées à partir du diagramme parabole-rectangle des contraintes en fonction de la déformation :



**Figure 2 : Loi de comportement du béton**

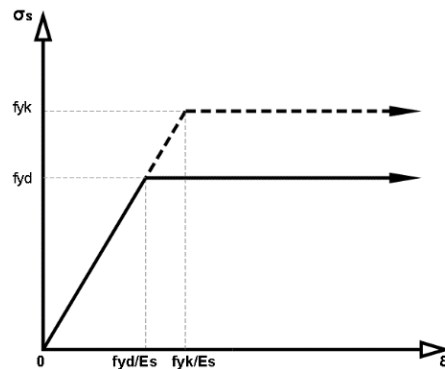
La valeur de calcul de la résistance à la compression du béton est donnée par la formule :

$$f_{cd} = \alpha_{cc} \frac{f_{ck}}{\gamma_c}$$

- $\alpha_{cc} = 1$  Valeur utilisée pour l'Annexe Nationale française (valeur recommandée pour les bâtiments). Le coefficient  $\alpha_{cc}$  tient compte de l'effet défavorable de la durée d'application des charges.
- $\gamma_c = 1,2$  Pour les situations accidentelles.
- $\gamma_c = 1,5$  Dans les autres cas.

### 2.7.3.2. Loi de comportement de l'acier

Les valeurs de calcul des armatures de béton armé sont issues du diagramme bilinéaire simplifié :



**Figure 3 : Loi de comportement de l'acier**

La valeur de calcul de la résistance à la traction de l'acier est donnée par la formule :

$$f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_s}$$

- $\gamma_s = 1$  Dans les situations accidentelles.
- $\gamma_s = 1,15$  Dans les autres cas.

### 2.7.3.3. Loi de comportement des procédés Sika CarboDur

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

$$f_{fd} = E_{fd} \cdot \varepsilon_{fd}$$

Avec :

- $E_{fd} = \frac{E_{fk}}{\gamma_{FRP,mE}}$ , Module d'élasticité de calcul du composite
- $\varepsilon_{fd} = \frac{\varepsilon_{fk}}{\gamma_{FRP,m\varepsilon}}$ , déformation de calcul du composite

Et :

- $\gamma_{FRP,mE} = \gamma_{FRP,E} \cdot \gamma_{FRP,m}$
- $\gamma_{FRP,m\varepsilon} = \gamma_{FRP,\varepsilon} \cdot \gamma_{FRP,m}$

Donc :

$$f_{fd} = \frac{f_{fk}}{\gamma_{FRP,mf}}$$

Avec :

$$\gamma_{FRP,mf} = \gamma_{FRP,E} \cdot \gamma_{FRP,\varepsilon} \cdot (\gamma_{FRP,m})^2$$

Les valeurs des coefficients partiels de sécurité vis-à-vis de la méthode de fabrication et d'application sont données dans le tableau suivant :

**Tableau 8 : Coefficients de sécurité partiels selon le TR 55**

Matériaux PRFC	$\gamma_{FRP,E}$	$\gamma_{FRP,m}$	$\gamma_{FRP,\varepsilon}$
Lamelles Sika CarboDur	1,1	1,05	1,25

**Tableau 9 : Synthèse des caractéristiques des lamelles collées**

		Lamelles	
		Sika CarboDur S	Sika CarboDur M
Module d'élasticité caractéristique (fractile à 5%)	$E_{fk}$	165 000 MPa	205 000 MPa
Module d'élasticité de calcul	$E_{fd}$	142 857 MPa	177 489 MPa
Allongement à rupture caractéristique (fractile à 5%)	$\varepsilon_{fk}$	1,76 %	1,56 %
Allongement à rupture de calcul	$\varepsilon_{fd}$	1,339 %	1,189 %
Résistance caractéristique (fractile à 5%) en traction	$f_{fk}$	2 900 MPa	3 200 MPa
Résistance de calcul	$f_{fd}$	1 913 MPa	2 111 MPa

La lamelle Sika CarboDur S est la plus couramment utilisée pour les applications collées en surface.

## 2.7.4. Règles communes pour le dimensionnement du renforcement de structures en béton armé suivant le référentiel TR55 – NF EN 1992-1-1

### 2.7.4.1. Introduction

La section doit être calculée de façon à ce que la plastification des armatures en place précède la rupture par compression du béton et la rupture en traction du composite.

### 2.7.4.2. Dimensionnement à l'ELU

#### 2.7.4.2.1. Vérification préalable de la structure

Avant renforcement, c'est-à-dire en tenant compte uniquement des armatures existantes et non des renforts Sika CarboDur, la structure doit reprendre la totalité des charges prévues (nouvelles charges du projet) à l'E.L.U. sous différentes combinaisons accidentelles en fonction de la catégorie de bâtiment.

#### 2.7.4.2.2. Calcul préliminaire

Une estimation de la section de renfort composite nécessaire peut être obtenue en considérant que la position de l'axe neutre reste approximativement égale à celui de la section non renforcée.

$$A_f = \frac{M_{add}}{\varepsilon_{fe} E_{fd} z}$$

Avec :

- $M_{add}$  : moment additionnel ( $M_{Ed} - M_{Rd}$ )
- $\varepsilon_{fe}$  : déformation de calcul du composite =  $\min \left\{ \frac{\varepsilon_{fk}}{\gamma_{FRP,m\varepsilon}}; 0,008 \right\}$ .
- $E_{fd}$  : module d'élasticité de calcul du composite.
- $z$  : bras de levier des armatures tendues

#### 2.7.4.2.3. Calcul du moment résistant de la section renforcée

- Les sections de béton et de composite considérées restent planes sous l'effet des déformations. On considère également qu'il n'y a pas de glissement/cisaillement entre différentes sections du même élément.
- Les contraintes dans le béton sont déterminées suivant le diagramme parabole-rectangle.

- L'effort de traction dans le béton n'est pas pris en compte.
- Les contraintes dans les armatures sont déterminées à partir du diagramme bilinéaire simplifié.
- Les déformations dans la section doivent tenir compte des déformations présentes dans la structure existante au moment de l'application du renfort.
- Les contraintes dans le renfort carbone suivent une loi contrainte-déformation linéaire jusqu'à la rupture.

De plus, si le moment résistant de la section renforcée est inférieur à 1,15 fois le moment sollicitant ( $M_{Rd,renf} \leq 1,15 M_{Ed}$ ), il convient de vérifier que la déformation au centre de gravité des armatures tendues respecte la condition suivante :

$$\varepsilon_s \geq 0,002 + \frac{f_{yk}}{E_s \gamma_s}$$

Si cette condition n'est pas respectée, il est nécessaire d'augmenter la section de renfort  $A_f$ .

#### 2.7.4.3. Méthodologie de calcul (ELU)

Le principe de calcul pour déterminer le moment résistant de la section renforcée est le suivant :

- Calculer les déformations initiales dans la structure à l'état initial, c'est-à-dire au moment des travaux de renforcement.
- Calculer les charges appliquées à la structure à l'ELU et déterminer le moment sollicitant  $M_{Ed}$ .
- Estimer la section de renfort carbone nécessaire (voir §2.7.4.2.2).
- Supposer une valeur initiale pour la déformation maximale dans le béton ( $\leq \varepsilon_{cu2}$  ou  $\varepsilon_{cu3}$  suivant le diagramme contrainte-déformation utilisé selon l'Eurocode 2).
- Supposer une position initiale pour l'axe neutre.
- En tenant compte des recommandations initiales (§2.7.4.2.3), calculer les forces dans la section à renforcer. Le calcul est basé sur un profil de déformation linéaire dans lequel la déformation dans le composite tient compte de la déformation initiale dans le béton.
- Itérativement, ajuster la position de l'axe neutre jusqu'à l'équilibre des forces dans la section.
- Vérifier les contraintes et les déformations par rapport aux critères suivants :
  - La déformation maximale dans le béton ne doit pas dépasser  $\varepsilon_{cu2}$  ou  $\varepsilon_{cu3}$  suivant le diagramme contrainte-déformation utilisé selon l'Eurocode 2.
  - La contrainte de cisaillement longitudinale  $\tau_t$  dans le composite ne doit pas dépasser la contrainte de cisaillement limite  $\tau_{lim,y}$ .
  - La déformation dans le composite  $\varepsilon_{mt}$  doit être inférieure à sa déformation de calcul  $\varepsilon_{fd}$ .

Si les contraintes et déformations dans le composite dépassent les valeurs limites, répéter le calcul en ajustant la position de l'axe neutre (étape e). Dans ce cas, le béton n'atteindra pas sa déformation limite ( $\varepsilon_{cu2}$  ou  $\varepsilon_{cu3}$ ) car la déformation maximale du composite et la profondeur de l'axe neutre régulent le calcul. (Ne pas utiliser le diagramme rectangle simplifié pour le béton, seulement valide si le béton atteint sa déformation ultime).

- Calculer le moment résistant de la section renforcée et vérifier qu'il est supérieur au moment sollicitant. Dans le cas contraire, repartir de l'étape d) en augmentant la valeur de la déformation maximale dans le béton.

#### 2.7.4.4. Vérifications à l'ELS

Une fois le processus itératif pour le calcul du renforcement à l'ELU terminé, il convient de vérifier les contraintes admissibles dans les matériaux à l'ELS.

Pour le béton :

- $\sigma_s \leq \sigma_{c,lim} = 0,6 f_{ck}$ , sous combinaison caractéristique
- $\sigma_s \leq \sigma_{c,lim} = 0,45 f_{ck}$ , sous combinaison quasi permanente

Pour les armatures tendues :

- $\sigma_s \leq \sigma_{s,lim} = 0,8 f_{yk}$ , sous combinaison caractéristique

Pour les renforts PRFC :

- $\sigma_f \leq \sigma_{f,lim} = \min(0,90\sigma_{s,lim}; 0,65 f_{fd})$ , sous combinaison caractéristique ( $f_{fd}$  la résistance ultime du composite définie au §2.7.3.3 du Dossier Technique).

Dans le cas où le renfort composite n'est pas appliqué sur la totalité de la partie de la structure fissurée (risque de pénétration des agents agressifs), il y a lieu de justifier la maîtrise de la fissuration conformément au paragraphe 7.3 de la norme NF EN 1992-1-1 et son Annexe Nationale.

#### 2.7.5. Cas des renforts collés : Lamelles Sika CarboDur S et M

Le procédé Sika CarboDur est généralement utilisé en renforts en flexion.

Dans le cadre de l'utilisation de renforts collés, il est nécessaire d'effectuer des vérifications sur la contrainte de cisaillement longitudinale, la déformation du composite ainsi que la longueur d'ancrage.

### 2.7.5.1. Vérification de la contrainte de cisaillement longitudinale

On doit vérifier que la contrainte de cisaillement longitudinale dans le composite est inférieure à la contrainte de cisaillement limite :

$$\tau_t \leq \tau_{lim,y}$$

Avec la contrainte de cisaillement limite :

$$\tau_{lim,y} = \left[ 4,5 \frac{f_{ctk}}{\gamma_c}; 2 \text{ MPa} \right]$$

Et la contrainte de cisaillement longitudinale dans le composite défini comme :

$$\tau_t = \tau_m + \tau_{sc}$$

Où :

- $\tau_m = t_f \left[ \frac{\sigma_{fmax} - \sigma_{fy}}{\Delta x} \right]$  : contrainte moyenne de cisaillement.
- $\tau_{sc} = 7,8 \left[ 1,1 - \frac{M_y}{M_{Ed}} \right] f_{ctk}$  : contrainte additionnelle de cisaillement.

Avec :

- $M_y$  : moment de la section renforcée pour lequel les armatures atteignent leur limite élastique.
- $\sigma_{fy}$  : contrainte dans le composite pour laquelle les armatures atteignent leur limite élastique.
- $M_{Ed}$  : moment maximal de calcul
- $\sigma_{fmax}$  : contrainte dans le composite au moment maximal de calcul.
- $\Delta x$  : distance entre les sections correspondant à  $M_y$  et à  $M_{Ed}$ .

### 2.7.5.2. Vérification de la déformation du composite

On doit vérifier que la déformation maximale du composite dans la zone élastique est inférieure à la déformation ultime de calcul du composite :

$$\varepsilon_{mt} \leq \varepsilon_{fd}$$

Avec la déformation ultime de calcul du composite donnée par :

$$\varepsilon_{fd} = \frac{\varepsilon_{fk}}{\gamma_{FRP,mE}}$$

Et la déformation maximale du composite dans la zone élastique définie comme :

$$\varepsilon_{mt} = \varepsilon_{fmax} + 0,114 \frac{\tau_{sc}}{\sqrt{E_{fd} t_f}}$$

Où :

- $\varepsilon_{fmax}$  : déformation du composite au moment fléchissant maximal, calculée à l'ELU (il y a lieu de vérifier que cette déformation soit toujours inférieure à 0,008).
- $\tau_{sc}$  : contrainte additionnelle de cisaillement (§2.7.5.1).
- $E_{fd} = \frac{E_{fk}}{\gamma_{FRP,mE}}$  : module d'élasticité de calcul du composite.
- $t_f$  : épaisseur du composite.

### 2.7.5.3. Vérification de l'ancrage

Lorsque la lamelle s'applique sur la totalité de la portée (d'appui à appui), il existe une longueur d'ancrage maximale  $l_{t,max}$  qui permet la reprise de tous les efforts de décollement  $T_{k,max}$  aux extrémités de la lamelle.

- $T_{k,max} = 0,5 k_b b_f \sqrt{E_{fd} t_f f_{ctk}}$  : effort maximal de décollement.
- $l_{t,max} = 0,7 \sqrt{\frac{E_{fd} t_f}{f_{ctk}}}$  : longueur d'ancrage maximale (correspondant à  $T_{k,max}$ ).

Avec :

- $E_{fd} = \frac{E_{fk}}{\gamma_{FRP,mE}}$  : module d'élasticité de calcul du composite.
- $t_f$  : épaisseur du composite.
- $b_f$  : largeur du composite

Il convient donc de vérifier que l'effort transmis par collage  $T_d$  est inférieur à l'effort maximal de décollement  $T_{k,max}$  :

$$T_d \leq T_{k,max}$$

Dans le cas où la longueur du renfort souhaite être optimisée sur la portée, il est nécessaire de calculer les positions pour lesquelles le moment fléchissant  $M_{Ed}$  n'excède plus le moment résistant  $M_{Rd}$ . La longueur d'ancrage sera de 50 cm de part et d'autre de ces positions. Il sera toutefois nécessaire de vérifier que l'effort  $T_d$  sont transmis sur la longueur  $l_{t,max}$ .



Dans le cas où la longueur d'ancrage  $l_{t,max}$  n'est pas disponible, l'effort maximal de décollement  $T_{k,max}$  doit être réduit à la valeur  $T_d$  correspondant à la longueur d'ancrage disponible  $l_t$ .

Avec la valeur de l'effort transmis par collage est donnée par :

$$T_k = \left( T_{k,max} \frac{l_t}{l_{t,max}} \right) \left( 2 - \frac{l_t}{l_{t,max}} \right)$$

Où :

- $k_b = 1,06 \sqrt{\frac{2 - \frac{b_f}{b}}{1 + \frac{b_f}{400}}}$  : coefficient sur la force de collage.

- $b_f$  : largeur du renfort composite en mm
- $b$  : largeur de l'élément à renforcer en mm

- $l_t$  : longueur d'ancrage disponible en mm.

Il convient de vérifier que l'effort transmis par collage  $T_d$  est inférieur à l'effort de décollement  $T_k$  ramené à la longueur d'ancrage disponible  $l_t$  :

$$T_d \leq T_k$$

*NB : Le logiciel Sika CarboDur permet d'optimiser la longueur de la lamelle utilisée pour le renforcement. Ainsi l'ancrage est vérifié à partir des positions pour lesquelles la lamelle n'est plus nécessaire au renforcement (moment agissant qui n'excède plus le moment résistant de la structure). La longueur d'ancrage finalement retenue par le logiciel respecte la règle mentionnée au dernier alinéa de ce paragraphe. Il vérifie également de manière automatique le non-décollement de la lamelle dû à l'effort tranchant.*

#### 2.7.5.4. Dispositions constructives

##### 2.7.5.4.1. Répartition des lamelles collées en renfort de dalles :

Les renforts doivent être uniformément répartis le long de la dalle ou de la poutre. La distance maximale entre axe de renforts ne doit pas dépasser les valeurs suivantes :

- 20 % de la portée (40 % de la longueur pour une console).
- 5 fois l'épaisseur de dalle.

##### 2.7.5.4.2. 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.

##### 2.7.5.4.3. 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.

##### 2.7.5.4.4. Arrêt de la lamelle

Au-delà de la zone sollicitée et renforcée en flexion, la lamelle Sika CarboDur doit être prolongée d'une longueur de 50 cm, correspondant à la longueur d'ancrage, cette longueur d'ancrage peut être réduite après vérification de calcul (voir §2.7.5.3)

#### 2.7.6. Dimensionnement des renforts pour les structures béton précontraint

Contrairement au renforcement de structures en béton armé, l'Etat Limite de Service (ELS) gouverne le dimensionnement des renforts pour les structures en béton précontraint.

La procédure pour le calcul du renforcement est la même que celle pour les éléments en béton armé.

Il faut néanmoins indiquer la précontrainte des armatures  $f_{se}$  à l'état initial (au moment des travaux de renforcement) en tenant compte de toutes les pertes. La force de précontrainte résultante  $P_p$  et la part isostatique du moment de précontrainte  $M_p$  sont déterminées.

##### 2.7.6.1. Critère à l'Etat Limite de Service

En supposant les armatures précontraintes dans la zone tendue, les contraintes dans la section béton seront données par la superposition des contraintes avant et après renforcement, en considérant un comportement élastique :

$$\sigma_{conc,t,b} = \frac{P_{m,t}}{A_c} + \frac{P_{m,t} e y_{t,b}}{I_c} \pm \frac{M_{existing} y_{t,b}}{I_c} \pm \frac{M_{add,service} y_{trans,t,b}}{I_{trans}}$$

Avec :

- $\sigma_{conc,t,b}$  : contraintes maximales dans le béton (traction ou compression) à la fibre la plus tendue ou la plus comprimée.
- $P_{m,t}$  : force de précontrainte au moment des travaux de renforcement.

- $A_c$  : aire de la section béton.
- $e$  : excentricité des tendons précontraints par rapport au centre de gravité de la section.
- $y_{t,b}$  : distance du centre de gravité de la section à la fibre la plus tendue ou la plus comprimée.
- $I_c$  : inertie de la section béton.
- $M_{existing}$  : moment dans la section au moment des travaux de renforcement.
- $M_{add,service}$  : moment additionnel après renforcement (ELS).
- $y_{trans,t,b}$  : distance du centre de gravité de la section renforcée à la fibre la plus tendue ou plus comprimée.
- $I_{trans}$  : inertie de la section renforcée.

Il convient de vérifier ensuite que les contraintes dans les matériaux ne dépassent pas leur valeur limite.

Pour le béton :

- $\sigma_s \leq \sigma_{c,lim} = 0,6 f_{ck}$ , sous combinaison caractéristique
- $\sigma_s \leq \sigma_{c,lim} = 0,45 f_{ck}$ , sous combinaison quasi permanente

Pour les armatures BA tendues :

- $\sigma_s \leq \sigma_{s,lim} = 0,8 f_{yk}$ , sous combinaison caractéristique

Pour les armatures de précontrainte :

- $\sigma_s \leq \sigma_{s,lim} = 0,8 f_{pk}$ , sous combinaison caractéristique

Pour les renforts PRFC :

- $\sigma_f \leq \sigma_{f,lim} = \min(0,90\sigma_{s,lim}; 0,65 f_{fd})$ , sous combinaison caractéristique ( $f_{fd}$  la résistance ultime du composite définie au §2.7.3.3 du Dossier Technique

Augmenter la section du matériau composite si nécessaire.

#### 2.7.6.2. Ancrage

Les éléments en béton précontraint ne sont généralement pas fissurés dans la zone proche de l'appui, le matériau composite pour le renforcement doit être toujours ancré au-delà de la dernière fissure de flexion. La vérification de l'ancrage se fait à la position où le moment agissant atteint le moment de fissuration de la section.

---

## 2.8. Fourniture et assistance technique

### 2.8.1. Qualification de l'entreprise applicatrice des procédés Sika CarboDur

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, certifié par l'AFNOR.

A la 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.

### 2.8.2. 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.

### 2.8.3. Logiciel Sika CarboDur

Sika met à disposition des bureaux d'études structures un logiciel d'aide au calcul Sika CarboDur, pour le calcul du renforcement de poutres ou de dalles en flexion.

Pour les structures en béton précontraint, le logiciel ne prend en compte que la part du moment de précontrainte isostatique. Si l'élément précontraint est hyperstatique, il convient d'ajouter la part du moment hyperstatique de précontrainte aux moments sollicitant issus des charges.

Le bureau d'études utilisateur du logiciel reste responsable de sa bonne utilisation suivant le cahier des charges fourni, de la définition des hypothèses et des données d'entrée ainsi que de l'interprétation des résultats.

---

## 2.9. Mise en œuvre

### 2.9.1. Généralités

Le bon fonctionnement d'une réparation ou d'un renforcement par les procédés Sika CarboDur 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.

### 2.9.2. Préparation du support pour renforts PRFC collés en surface (lamelles)

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, ...).

(\*) *Note : 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.

#### 2.9.2.1. 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 moyenne est obtenue à partir d'au moins 5 valeurs individuelles par zone testée. Les valeurs individuelles écartées de  $\pm 20$  % de cette valeur moyenne sont exclues. La cohésion superficielle moyenne se calcule sur les valeurs conservées avec un minimum de 3 valeurs.

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.

#### 2.9.2.2. Aspect de surface après décapage

La surface du support préparé qui doit recevoir le collage du renfort PRFC doit présenter la tolérance de planéité donnée dans le référentiel TR55, de 5 mm sous la règle de 1 m.

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-41 EF ou Sikadur-30, ou des produits base ciment de la gamme Sika MonoTop (Sika MonoTop-412 N, ...). 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, épaufrures...), 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 Injection ou Sikadur -53.

### 2.9.3. Conditions générales d'application

#### 2.9.3.1. 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.

##### 2.9.3.1.1. 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 I 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.

### 2.9.3.1.2. 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 optimales (Durée Pratique d'Utilisation, facilité de malaxage, vitesse de durcissement, facilité de mise en œuvre, ...).

### 2.9.3.2. 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).

### 2.9.4. 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
- Le type de renfort :
- Lamelle Sika CarboDur, type S ou M
- La section des renforts : largeur, épaisseur
- Le nombre de couches de lamelles collées 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

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 (lamelles) 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 : lamelles Sika CarboDur 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. Eviter les risques de condensation (température du support > température du point de rosée + 3°C).

### 2.9.5. Prescriptions de mise en œuvre particulières aux lamelles Sika CarboDur collées en surface

#### 2.9.5.1. Préparation de la lamelle Sika CarboDur

- 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.

#### 2.9.5.2. 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.

**Tableau 10 : Consommation théorique approximative par mètre de lamelle \***

Lamelle	S 512	S 812	S 1012	S 1512
Largeur	50 mm	80 mm	100 mm	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.**

### 2.9.5.3. Pose de la lamelle Sika CarboDur

#### 2.9.5.3.1. Dispositions générales

- 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 §2.9.2) 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 :
  - Selon le référentiel AFGC : 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.
  - Selon le référentiel TR55 : Pas de restrictions concernant les distances aux bords mais nous considérons cependant qu'il est nécessaire de respecter une distance entre la lamelle et l'arête de la poutre. Cette distance doit être au moins égale à l'enrobage des armatures internes du béton armé.
- 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 marouffleur 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'étayage).

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.

#### 2.9.5.3.2. 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.



5 mm mini.

**Figure 4 : Lamelles juxtaposées**

#### 2.9.5.3.3. 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 maximal de couches superposées de lamelles 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 §2.8.3.5 et §2.8.3.6).

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.



**Figure 5 : Lamelles superposées**

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.



**Figure 6: Lamelles croisées**

Pour les finitions et protections, se reporter au §2.10.

#### **2.9.5.3.4. Cas de lamelles recouvertes par les tissus de renforcement SikaWrap**

Lorsqu'un même élément de structure doit être renforcé vis-à-vis de la flexion et de l'effort tranchant, il convient de procéder dans un premier temps à la mise en œuvre des lamelles (renforcement en flexion) et de venir dans un second temps en recouvrement avec les tissus (renforcement à l'effort tranchant).

Les procédés de renforcement à l'effort tranchant, tissus SikaWrap, font l'objet d'un Avis Technique. Le dimensionnement et la mise en œuvre de ces tissus SikaWrap devront être conforme l'Avis Technique en cours de validité.

Dans cette optique, la procédure à respecter est la suivante :

- Rattraper l'épaisseur de part et d'autre de la lamelle avec du Sikadur-30 appliqué en sifflet.
- Nettoyage de la lamelle collée en surface avec le Nettoyant Sikadur.
- Le lendemain, mise en œuvre du tissu SikaWrap conformément à l'Avis Technique en cours de validité.



**Figure 7 : Lamelles recouvertes par le tissu SikaWrap**

## 2.10. Finition et Protection des procédés Sika CarboDur

Une fois la mise en œuvre terminée, le procédé Sika CarboDur peut être recouvert 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 décrites ci-dessous. La protection au feu est un cas particulier (voir §2.10.4).

### 2.10.1. 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 :

#### Produits à base de polymères :

Gamme Sikagard (-675 W, -550 W, -680 S) ou Sikafloor (-400 N, -264).

Concernant la gamme Sikagard, le coloris est 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 les lamelles Sika CarboDur collées en surface :

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

#### Produits à base de liant hydraulique :

Gamme de mortiers minces SikaTop, Sika MonoTop, Sikafloor Level de couleur gris béton ou enduits traditionnels, enduits de façades monocouches colorés, enduit plâtre, etc...

Cas de l'application sur les lamelles Sika CarboDur collées en surface :

- Après durcissement du collage de la lamelle, dégraisser la lamelle avec le Nettoyant Sikadur et laisser évaporer le solvant.
- Appliquer en surface de lamelle une couche de colle Sikadur-30 saupoudrée immédiatement à l'état frais par jet à la volée ou 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 mortier à base de liant hydraulique.

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 base ciment ou par un procédé spécial si la température est élevée (voir §2.10.4).

### 2.10.2. Protection / contact avec l'eau

Pour les cas où les lamelles sont mises 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) ou équivalent.

### 2.10.3. Protection vis-à-vis des chocs, usures, abrasion

Certaines applications de lamelles Sika CarboDur nécessitent une protection complémentaire particulière pour résister et assurer la durabilité du renforcement de l'ouvrage vis-à-vis d'agressions physiques et mécaniques :

- Renforcement intérieur dans le domaine de l'eau (bassins, réservoirs, canalisations, ovoïdes, etc...)
- Renforcement en contact avec le trafic piétonnier ou de véhicules (lamelles appliquées en partie supérieure de dalle par exemple).

Suivant le cas particulier, réaliser une protection à base de mortier hydraulique Sika MonoTop 2400 ou 3400, Sika MonoTop 412 N ou 410 R, ou de revêtement autolissant coloré à base de résine Sikafloor (pour zone de stockage, atelier, parking, quai, hangar, etc...).

### 2.10.4. 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) ou la norme EN 1992-1-2 et son Annexe Nationale (Comportement au feu) 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 existantes : alors aucune protection au feu des procédés Sika CarboDur 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 lamelles Sika CarboDur collées en surface, 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 la lamelle Sika CarboDur). 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, ...).

### 2.10.5. Protection contre la corrosion

Le procédé Sika CarboDur est 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.

### 2.10.6. Protection mécanique et / ou sous étanchéité à chaud

Lorsqu'une protection mécanique des lamelles est nécessaire (avant reprofilage de dalles ou mise en œuvre d'une étanchéité projetée à chaud par exemple), il est possible d'utiliser le Sika FastFix 134 TP comme suit :

- Nettoyage de la lamelle collée en surface avec le Nettoyant Sikadur.
- Application d'une couche de résine Sikadur sur la lamelle nettoyée et saupoudrage à l'état frais de sable de quartz propre et sec de granulométrie 0,7/1,3 mm.
- Le lendemain, aspiration des particules non adhérentes et mise en œuvre du mortier de protection Sika FastFix 134 TP sur une épaisseur minimale entre 10 et 15 mm (pour l'utilisation d'un autre mortier, nous consulter).

Respecter les délais de durcissement spécifiés dans la Notice Produit du mortier de protection appliqué avant remise en service ou mise en œuvre de l'étanchéité projetée à chaud.

---

## 2.11. Contrôle des travaux

Le contrôle interne (autocontrôle) est réalisé par l'équipe qui met en œuvre les procédés Sika CarboDur. 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.

### 2.11.1. Contrôles avant la mise en œuvre (voir paragraphe 2.9)

- 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 superficielle du béton préparé selon le principe dans 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 pour arbitrage (essais à reconduire, évaluation du niveau de cohésion, etc...).
- 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, support sec, etc...
- 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.

### 2.11.2. 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)

Pour les lamelles collées en surface :

- 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.
- Dans certains cas, suivant le contrat de travaux, il est possible d'effectuer un contrôle du collage par caméra thermo-infrarouge, immédiatement après marouflage pendant que la colle Sikadur 30 est encore fraîche afin d'appliquer si nécessaires les éventuelles mesures correctives avant durcissement de la colle.

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

- Vérification de la résistance de la colle durcie Sikadur-30 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.

---

## 2.12. 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



---

## **2.13. Références**

---

### **2.13.1. Données Environnementales**

Le procédé de renforcement par collage des matériaux composites Sika CarboDur ne fait pas l'objet d'une Déclaration Environnementale (DE). Il ne peut donc revendiquer aucune performance environnementale particulière. Les données issues des DE ont notamment pour objet de servir au calcul des impacts environnementaux des ouvrages dans lesquels les procédés visés sont susceptibles d'être intégrés.

### **2.13.2. Autres références**

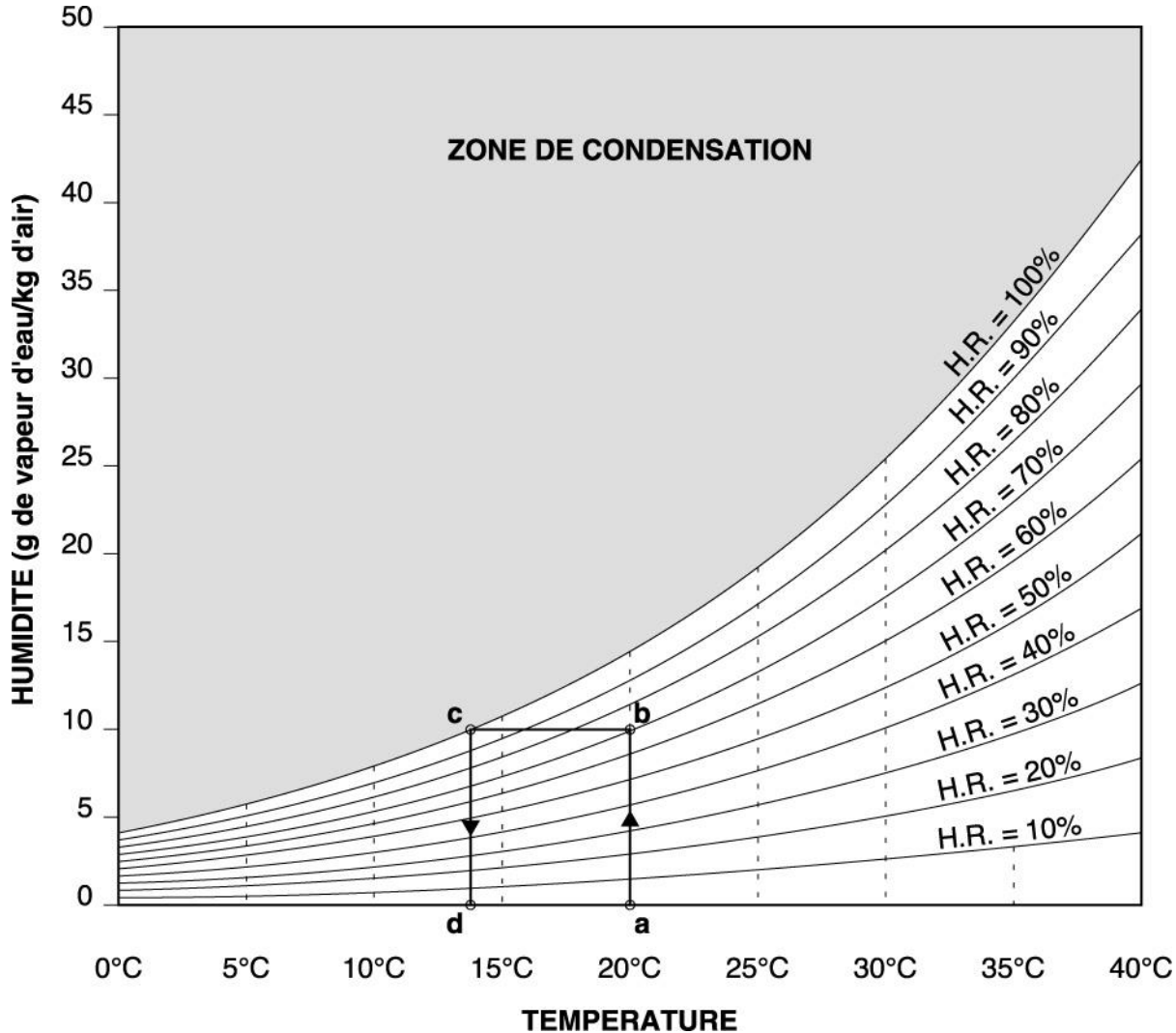
Liste non exhaustive de références :

- 2017 – Tours – Lycée hôtelier
- 2018 – Paris – Bâtiment ERP (Gare)
- 2019 – Bois-Colombes – Bâtiment ERP (Lycée)

## 2.14. Annexes du Dossier Technique

### 2.14.1. 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).

Alternatives du diagramme de Mollier : utiliser des appareils de mesures de type Testo ou similaire :

- Thermomètre laser infrarouge Testo 830 : mesure à distance de la température de surface.
- Thermo-hygromètre Testo 610 : mesure de l'humidité relative de l'air, de la température ambiante et du point de rosée.

**Tableau des points de rosée :**

	Température de l'air (°C)	Températures du point de rosée <sup>1</sup> en °C pour une humidité relative de l'air de										
		45 %	50 %	55 %	60 %	65 %	70 %	75 %	80 %	85 %	90 %	95 %
Températures habituelles de mise en œuvre	2	-8	-7	-5	-4	-3	-2	-2	-1	0	0	1
	4	-6	-5	-4	-3	-2	-1	0	1	2	2	3
	6	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	4	5
	8	-3	-2	0	1	2	3	4	5	6	6	7
	10	-1	0	1	3	4	5	6	7	8	8	9
	12	0	2	3	4	6	7	8	9	10	10	11
	14	2	4	5	6	8	9	10	11	12	13	13
	15	3	5	6	7	9	10	11	12	13	14	14
	16	4	6	7	8	9	11	12	13	14	15	16
	17	5	6	8	9	10	11	13	14	15	15	16
	18	6	7	9	10	11	12	13	15	15	16	17
	19	7	8	10	11	12	13	14	15	16	17	18
	20	8	9	11	12	13	14	15	16	17	18	19
	21	9	10	12	13	14	15	16	17	18	19	20
	22	10	11	13	14	15	16	17	18	19	20	21
	23	10	12	13	15	16	17	18	19	20	21	22
	24	11	13	14	16	17	18	19	20	21	22	23
	25	12	14	15	17	18	19	20	21	22	23	24
	26	13	15	16	18	19	20	21	22	23	24	25
	27	14	16	17	19	20	21	22	23	24	25	26
	28	15	17	18	19	21	22	23	24	25	26	27
	29	16	18	19	20	22	23	24	25	26	27	28
	30	17	19	20	21	24	24	25	26	27	28	29
	32	19	20	22	23	25	26	27	28	29	30	31
	34	20	22	24	25	27	28	29	30	31	32	33
	36	22	24	26	27	28	30	31	32	33	34	35
	38	24	26	28	29	30	32	33	34	35	36	37
	40	26	28	29	30	32	33	35	36	37	38	39
	45	30	32	34	35	37	38	40	41	42	43	44
	50	35	37	38	40	42	43	44	46	47	48	49

Le tableau indique la température du point de rosée (apparition de condensation à la surface du support) en fonction de la température ambiante et de l'humidité relative de l'air.

Ex : pour une température ambiante de 10°C et une humidité relative de l'air de 70%, une condensation apparaît sur des surfaces (non absorbantes) pour des températures de surface de 5°C.

<sup>1</sup> Les températures du point de rosée sont arrondies au degré supérieur.

## 2.14.2. Annexe 2 – FICHES DE CONTROLE INTERNE A L'ENTREPRISE

<b>Fiche N° 1 - contrôles du support préalables à la mise en œuvre des renforts PRFC collés</b>		
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 : .....		
<b>Éléments à contrôler</b>	<b>Conforme Oui / Non</b>	<b>Actions correctives</b>
Diagnostic de la structure disponible Support contaminé par chlorures, sulfates, autres agents...		Demande au maître d'œuvre si besoin
Préparation du support Absence de revêtement existant et imprégnation (peinture, revêtements, flocage, plâtre, hydrofuges de surface, ...)		Élimination des revêtements : décapage par sablage, lavage eau haute pression, ponçage, ...
Absence de laitance, huile, graisse, lichens, mousses,		Élimination 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 1 m		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 satec) 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 maître 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

<b>Fiche N° 2 - contrôles lors de la mise en œuvre des lamelles collées Sika CarboDur</b>		
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 : .....		
<b>Éléments à contrôler</b>	<b>Conforme Oui / Non</b>	<b>Actions correctives</b>
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 §2.9.3 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 de la colle durcie Sikadur-30 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.

<b>(Suite) Fiche N° 2 - contrôles lors de la mise en œuvre des lamelles collées Sika CarboDur</b>		
<p><b>Cas de pose de lamelles juxtaposées</b> (la pose bord à bord sans espace libre n'est pas possible)</p> <p>Espace libre mini de 5 mm (généralement 1 cm) entre lamelle</p> <p>- pose de la lamelle juxtaposée : identique à la 1ère lamelle</p>		<p>Respecter un espace libre d'au moins 5 mm entre lamelle pour permettre le reflux de la colle lors du marouflage</p>
<p><b>Cas de pose de lamelles en superposition</b></p> <p>- pose de la 1ère couche de lamelle : comme indiqué ci-dessus</p> <p>- attendre le durcissement du collage de la 1ère lamelle :</p> <p>- préparation de la 2ème lamelle à superposer : identique à la 1ère lamelle</p> <p>- pose de la 2ème couche de lamelle : identique à la 1ère lamelle</p>		<p>Attendre le durcissement du collage de la 1ère lamelle avant de poser la 2ème lamelle</p>
<p><b>Cas de pose de lamelles croisées</b></p> <p>- pose de la 1ère couche de lamelle : comme indiqué ci-dessus</p> <p>- au droit du croisement, rattraper l'épaisseur de la 1ère lamelle avec Sikadur-30 appliqué en sifflet</p> <p>- attendre le durcissement du collage de la 1ère lamelle :</p> <p>- préparation de la 2ème lamelle à croiser : identique à la 1ère lamelle</p> <p>- pose de la 2ème lamelle croisée : identique à la 1ère lamelle</p>		
<p><b>Contrôle après durcissement du collage des lamelles :</b></p> <p>- absence de vides, collage continu sur la surface de la lamelle</p>		<p>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.</p>
<p>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.</p>		