

Sur le procédé

SIKA CARBODUR GRID

Famille de produit/Procédé : Renforcement d'éléments de structure par collage d'une grille bidirectionnelle avec une matrice cimentaire

Titulaire: Société SIK A France

Internet : www.fra.sika.com

AVANT-PROPOS

Les avis techniques et les documents techniques d'application, désignés ci-après indifféremment par Avis Techniques, sont destinés à mettre à disposition des acteurs de la construction **des éléments d'appréciation sur l'aptitude à l'emploi des produits ou procédés** dont la constitution ou l'emploi ne relève pas des savoir-faire et pratiques traditionnels.

Le présent document qui en résulte doit être pris comme tel et n'est donc **pas un document de conformité ou à la réglementation ou à un référentiel d'une « marque de qualité »**. Sa validité est décidée indépendamment de celle des pièces justificatives du dossier technique (en particulier les éventuelles attestations réglementaires).

L'Avis Technique est une démarche volontaire du demandeur, qui ne change en rien la répartition des responsabilités des acteurs de la construction. Indépendamment de l'existence ou non de cet Avis Technique, pour chaque ouvrage, les acteurs doivent fournir ou demander, en fonction de leurs rôles, les justificatifs requis.

L'Avis Technique s'adressant à des acteurs réputés connaître les règles de l'art, il n'a pas vocation à contenir d'autres informations que celles relevant du caractère non traditionnel de la technique. Ainsi, pour les aspects du procédé conformes à des règles de l'art reconnues de mise en œuvre ou de dimensionnement, un renvoi à ces règles suffit.

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

Versions du document

Version	Description	Rapporteur	Président
V1	Il s'agit d'une nouvelle demande.	Loïc PAYET	Roseline BERNARDIN-EZRAN

Table des matières

1.	Avis du Groupe Spécialisé	5
1.1.	Domaine d'emploi accepté.....	5
1.1.1.	Zone géographique.....	5
1.1.2.	Ouvrages visés	5
1.2.	Appréciation	5
1.2.1.	Aptitude à l'emploi du procédé	5
1.2.2.	Durabilité	6
1.2.3.	Impacts environnementaux	6
1.3.	Remarques complémentaires du Groupe Spécialisé	6
2.	Dossier Technique.....	7
2.1.	Mode de commercialisation.....	7
2.1.1.	Coordonnées	7
2.2.	Description	7
2.2.1.	Principe.....	7
2.2.2.	Caractéristiques des composants.....	7
2.3.	Disposition de conception	8
2.3.1.	Dimensionnement	8
2.3.2.	Notations	8
2.3.3.	Synthèse des caractéristiques des composants du système Sika® Carbodur® Grid à considérer pour le dimensionnement	9
2.3.4.	Interface composite-béton.....	10
2.3.5.	Expertise préalable de la structure.....	10
2.3.6.	Dimensionnement des renforcements en flexion pour les structures en béton armé suivant l'Eurocode 2.....	10
2.4.	Fabrication – Contrôles	16
2.4.1.	Sika®CarboDur®-300 Grid	16
2.4.2.	Sika MonoTop®-3200 Grid	17
2.5.	Travaux préparatoires.....	17
2.5.1.	Généralités.....	17
2.5.2.	Préparation du support	17
2.5.3.	Planéité du support.....	18
2.5.4.	Réception du support.....	18
2.5.5.	Dispositions correctives.....	18
2.6.	Disposition de mise en œuvre	18
2.6.1.	Préparation des armatures Sika®CarboDur®-300 Grid	18
2.6.2.	Préparation Sika MonoTop®-3200 Grid	18
2.6.3.	Pose du système Sika® Carbodur® Grid.....	18
2.7.	Finition – Protection.....	19
2.7.1.	Finition revêtement associés	19
2.7.2.	Protection au feu.....	19
2.8.	Contrôle à la mise en œuvre.....	19
2.8.1.	Contrôle du support.....	19
2.8.2.	Contrôle de la cohésion superficielle	19
2.8.3.	Contrôle de la planéité	19
2.8.4.	Relevé des fissures.....	19
2.8.5.	Contrôle des produits.....	19
2.8.6.	Contrôles lors des travaux	19
2.8.7.	Contrôles finaux.....	19
2.9.	Assistance technique	19

2.10.	Mention des justificatifs	20
2.10.1.	Résultats Expérimentaux	20
2.10.2.	Références chantiers.....	20
2.11.	Annexe du Dossier Technique	21

1. Avis du Groupe Spécialisé

Le procédé décrit au chapitre II « Dossier Technique » ci-après a été examiné par le Groupe Spécialisé qui a conclu favorablement à son aptitude à l'emploi dans les conditions définies ci-après :

1.1. Domaine d'emploi accepté

1.1.1. Zone géographique

L'Avis est émis pour les utilisations en France européenne et dans les DOM

1.1.2. Ouvrages visés

Le système de renforcement par collage d'une grille bidirectionnelle est applicable au renforcement d'éléments de structure béton armé travaillant en flexion et à l'effort tranchant.

La société SIKA distribue le produit, sans assurer la conception ni la mise en œuvre.

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

Le renforcement des dalles à l'effort tranchant n'est pas visé.

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

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

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

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

L'augmentation des capacités résistantes par les procédés de renforcement est limitée aux actions rapidement variables.

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) et le renforcement vis-à-vis du poinçonnement et du confinement, sortent du champ du présent Avis.

L'Avis n'est valable que si la température du milieu ambiant, du mortier colle et du support au niveau du collage n'excède pas 80 °C en service continu et en pointe.

1.2. Appréciation

1.2.1. Aptitude à l'emploi du procédé

1.2.1.1. 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, à condition de respecter strictement les prescriptions données dans le paragraphe 2.3 du Dossier Technique.

1.2.1.2. Réaction au feu

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

Lorsqu'une exigence vis-à-vis de la réaction au feu est demandée, elle devra être justifiée par un PV de classement délivré par un laboratoire agréé par le Ministère de l'Intérieur.

1.2.1.3. Résistance au feu

En ce qui concerne la résistance au feu, le procédé Sika® Carbodur® Grid ne participe pas à la tenue des éléments renforcés.

Lorsqu'une protection au feu est prévue par-dessus le système 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.

1.2.1.4. Pose en zones sismiques

L'utilisation sur procédé de Sika® Carbodur® Grid pour des bâtiments nécessitant des dispositions parasismiques au sens de l'arrêté du 22 octobre 2010 modifié n'est pas visée par le présent avis.

1.2.1.5. Aspects sanitaires

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

1.2.2. Durabilité

La colle Sika MonoTop®-3200 Grid-est un Mortier Colle conforme à la norme NF EN 1504-3. A ce titre, la durabilité des éléments renforcés est normalement assurée, à l'exception des utilisations dans les locaux (ou ambiances) suivants :

- Ambiance agressive (type solvant, ambiance cryogénique) ;
- Le procédé ne permet pas de renforcer des éléments de structures soumis à des effets de gel-dégel ;
- Lorsque la température est susceptible de dépasser la température maximale d'utilisation indiquée au paragraphe 1.1.2 du dossier technique.

En effet, pour la première restriction, la stabilité des caractéristiques mécaniques du mortier colle n'est pas démontrée. Pour la seconde restriction, la stabilité du composite et de son interface a été démontrée expérimentalement pour une température maximale de 80 °C.

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

1.2.3. Impacts environnementaux

Le traitement en fin de vie peut être assimilé à celui de produits traditionnels.

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.

2. Dossier Technique

Issu des éléments fournis par le titulaire et des prescriptions du Groupe Spécialisé acceptées par le titulaire

2.1. Mode de commercialisation

2.1.1. Coordonnées

Le procédé est commercialisé par le titulaire.

Titulaire : SIKA France SA
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

2.2.1. Principe

Le système Sika® Carbodur® Grid est destiné à renforcer les structures en béton armé par le collage d'une grille de fibres de carbone Sika®CarboDur®-300 Grid (fibres de carbone imprégnées d'une matrice organique) à l'aide d'un mortier spécialement formulé, Sika MonoTop®-3200 Grid.

Tableau 1 : Composite Sika® Carbodur® Grid

Gamme de renforcement TRC	Grille	Mortier colle
Sika® Carbodur® Grid	Sika®CarboDur®-300 Grid	Sika MonoTop®-3200 Grid

Ce procédé est utilisé en tant que renfort d'éléments de structure béton armé travaillant en flexion et à l'effort tranchant.

Le présent Dossier Technique définit la méthode dimensionnement, les produits utilisés et leurs modalités de mise en œuvre et de contrôle pour l'exécution des travaux cités au présent paragraphe.

2.2.2. Caractéristiques des composants

2.2.2.1. Matériaux

2.2.2.1.1. Sika®CarboDur®-300 Grid

Grille bidirectionnelle comportant 13 fils de carbone au 10 cm dans le sens chaîne et dans le sens trame. Chaque fil est constitué de 12 000 filaments de 7 microns de diamètre de carbone T700 dont la résistance unitaire est de 4 900 MPa et le module d'Young en traction de 230 GPa (loi de comportement linéaire élastique).

La liaison est assurée par des fils de liage dans le sens chaîne et dans le sens trame assujettis selon le système « pas de gaz ».

La géométrie de la grille Sika®CarboDur®-300 Grid est calibrée et maîtrisée afin de garantir une répartition idéale des efforts diffusés dans l'ouvrage (cette géométrie maîtrisée est le fait d'un processus industriel unique qui est l'objet d'un dépôt de brevet).

Caractéristiques :

Composition : fibres de carbone imprégnées d'une résine en phase aqueuse.

Poids : 320 gr/m² environ (+/- 10%)

Présentation en rouleaux de 50 mètres x 1 mètre de largeur

Couleur : noir

Cette grille se pose par « moulage au contact » (opération de stratification) directement sur le support (préalablement préparé afin de remplir les critères minimums d'applicabilité du renfort).

2.2.2.1.1.1. Identification

Sika®CarboDur®-300 Grid est identifié par un numéro de lot composé de la date de fabrication suivi d'un code de production.

2.2.2.1.1.2. Performances

Module d'élasticité en traction > 125 GPa (grille)

Résistance à la traction : 12 000 N/ 5 cml en valeur caractéristique (13 234 N / 5cml en valeur moyenne) selon EN ISO 13934-1

Allongement à la rupture > 3,5 % selon EN ISO 139

2.2.2.1.2. Sika MonoTop®-3200 Grid

Sika MonoTop®-3200 Grid est un mortier colle formulé à base de liants hydrauliques, de charges spécifiques et d'adjuvants soigneusement sélectionnés.

- Couleur : gris
- Consistance : plastique, onctueuse
- Densité pâte : 1,8
- Granulométrie : 0 à 1 mm
- Conditionnement : sac de 25 kg

Sika MonoTop®-3200 Grid est conforme à la norme NF EN 1504-3 de classe R3 et fait donc l'objet d'un Marquage CE.

2.2.2.1.2.1. Identification

La codification est réalisée sur chaque emballage et représente :

- L'identification du numéro de lot
- La date de fabrication
- L'heure de fabrication
- Le site de production (en l'occurrence le site de Paviers identifié U37)

2.2.2.1.2.2. Performances

- Résistance à la compression : 30 MPa à 28 jours
- Résistance à la traction par flexion : 7,5 MPa à 28 jours
- Adhérence sur béton : > 2 MPa (mortier seul)

Durée pratique d'utilisation (DPU) : 40 minutes à 20°C

2.2.2.1.3. Produits complémentaires

SikaTop® - 121 Surfçage

Mortier de réparation conforme NF EN 1504-3 de classe R4, permettant le reprofilage sous faible épaisseur des ouvrages nécessitant le renfort par le système Sika® Carbodur® Grid.

Sika MonoTop® - 4012 F

Mortier de réparation du béton bénéficiant du marquage CE NF 1504-3 R4.

Sika MonoTop® - 3020

Mortier de réparation et de resurfçage monocomposant bénéficiant du marquage CE NF 1504-3 R3.

Sika MonoTop® - 410 R

Mortier de réparation du béton bénéficiant du marquage CE NF 1504-3 R4 à prise et durcissement rapides.

Sika MonoTop® - 311 FR

Mortier de réparation fin du béton bénéficiant du marquage CE NF 1504-3 R3 à prise et durcissement rapides.

SikaTop®-107 Protection

Micro-mortier à base de liant hydraulique à gâcher avec une résine en dispersion aqueuse destiné à recouvrir le système Sika® Carbodur® Grid. Marquage CE selon NF EN 1504-2 en tant que Revêtement de protection de surface du béton

2.3. Disposition de conception

2.3.1. Dimensionnement

Le dimensionnement des éléments de renforcement, en particulier la section, la longueur et le positionnement des renforts composites, doit être réalisé par un bureau d'étude (BE structure) expérimenté en calcul de renforcement de structures.

Les paragraphes ci-après sont consacrés au cas général de dimensionnement suivant les règles de l'Eurocode 2 (cf. annexes 1 et 2 du Dossier Technique).

La justification à la rupture 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.

2.3.2. Notations

Générales :

A_s : section des armatures en zone tendue ;

A'_s : section des armatures en zone comprimée ;
 A_f : section du Sika® Carbodur® Grid;

$$A_{f,max} \leq \min \left\{ b_f t_f; \frac{F_{fu}}{f_{fu,d}} \right\}$$

b_f : largeur de la bande de Sika® Carbodur® Grid;
 n : coefficient d'équivalence entre l'acier et le béton (rapport des modules). $n=15$ usuellement ;
 n_f : coefficient d'équivalence entre le Sika® Carbodur® Grid et le béton (rapport des modules) ;
 I : inertie équivalente de la section : contribution du béton, des armatures et du Sika® Carbodur® Grid tendu.
 τ_i : contrainte d'interface ou de délaminage du composite Sika® Carbodur® Grid
 t_f : épaisseur d'une couche
 F_{fu} : Effort résistant du renfort textile
 $f_{fu,d}$: Résistance de calcul du renfort textile

A l'ELS :

M_1 : moment avant renforcement à l'ELS
 M_2 : incrément de moment après renforcement à l'ELS
 σ_{c1} : contrainte en fibre supérieure du béton comprimé sous le moment M_1
 σ_{c2} : contrainte en fibre supérieure du béton comprimé sous le moment M_2
 σ_{s1} : contrainte dans les armatures sous le moment M_1
 σ_{s2} : contrainte dans les armatures sous le moment M_2
 σ_{f2} : contrainte dans le Sika® Carbodur® Grid sous le moment M_2
 $\bar{\sigma}_c$: contrainte admissible dans le béton à l'ELS
 $\bar{\sigma}_s$: contrainte admissible dans les armatures existantes à l'ELS
 $f_{f,e,d}$: contrainte admissible dans Sika® Carbodur® Grid à la limite de l'élasticité linéaire
 $f_{f,d}$: contrainte admissible dans Sika® Carbodur® Grid à l'ELS (correspondant à une déformation dans les aciers passifs de 0,20 %)

A l'ELU :

M_{Ed} : moment sollicitant à l'ELU
 σ_c : contrainte en fibre supérieure du béton comprimé à l'ELU
 σ'_s : contrainte dans les armatures comprimées à l'ELU
 σ_s : contrainte dans les armatures tendues à l'ELU
 σ_f : contrainte de traction dans le Sika® Carbodur® Grid à l'ELU
 $f_{y,k}$: contrainte limite de traction dans l'acier à l'ELU
 $f_{fu,d}$: contrainte limite de traction dans le Sika® Carbodur® Grid à l'ELU

Effort tranchant :

A_{sw} : aire de la section des armatures d'effort tranchant
 f_{ydw} : limite d'élasticité des armatures d'effort tranchant
 s : espacement des armatures d'effort tranchant
 z : Bras de levier
 θ : angle d'inclinaison des bielles (conformément à la NF EN 1992-1)
 α : angle d'inclinaison des armatures d'effort tranchant ;
 β : angle d'inclinaison du Sika® Carbodur® Grid (par rapport à la fibre moyenne)
 $l_{anc,Vu}$: longueur d'ancrage imposée par la géométrie de la poutre à renforcer
 $l_{anc,d}$: longueur d'ancrage de calcul : 200 mm

2.3.3. Synthèse des caractéristiques des composants du système Sika® Carbodur® Grid à considérer pour le dimensionnement

Sika® Carbodur® Grid est un composite constitué de « l'assemblage » de Sika®CarboDur®-300 Grid noyé dans le mortier colle -Sika MonoTop®-3200 Grid.

2.3.3.1. Epaisseur

L'épaisseur d'une couche de composite Sika® Carbodur® Grid est présentée dans le Tableau 1 de l'Annexe 1.
Le nombre de couches du système Sika® Carbodur® Grid est limité à 1 couche.

2.3.3.2. Caractéristiques mécaniques du système composite Sika® Carbodur® Grid

La valeur de $f_{f,k}$ correspond à la valeur caractéristique (conformément à l'Annexe D de la NF EN 1990-1) de résistance à la traction du composite obtenue par essais.

Les valeurs caractéristiques et de calcul à l'ELU et à l'ELS sont indiquées en Annexe 1 du présent Dossier Technique.

2.3.4. Interface composite-béton

La contrainte de cisaillement de l'interface composite-béton est définie comme suit :

$$v_{ad,d} = \min(1,5 \text{ MPa}; \frac{f_{tk}}{\gamma_{td}}) \quad (\text{ELS})$$

$$v_{ad} = \min(2 \text{ MPa}; \frac{f_{tk}}{\gamma_{td}}) \quad (\text{ELU})$$

Avec : f_{tk} la résistance caractéristique du support béton en traction déterminée par essais de pastillage

Tableau 2 : Valeurs de γ_{td} à prendre en compte pour la vérification de l'interface composite- béton

Tableau 3 : Valeurs de γ_{td} à prendre en compte pour la vérification de l'interface composite- béton

γ_{td}	ELS	ELU
Sika® Carbodur® Grid	2	1,5

Les contraintes d'entraînement sont calculées conformément au §2.3.6.7.1 en s'assurant que $\tau_u < \bar{\tau}_u$ et que $\tau_e < \bar{\tau}_e$, où :

$$\bar{\tau}_u = \min\{v_{ad,d}; \tau_i\}$$

$$\bar{\tau}_e = \min\left\{v_{ad}; \frac{\tau_i}{1,5}\right\}$$

Avec :

τ_i la contrainte de cisaillement d'interface de Sika® Carbodur® Grid égale à 0,5 MPa ;

τ_u (ELU) et τ_e (ELS) les contraintes d'entraînement à l'interface Sika® Carbodur® Grid - béton;

$\bar{\tau}_u$ (ELU) et $\bar{\tau}_e$ (ELS) les contraintes admissibles dans le béton.

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

2.3.5. Expertise préalable de la structure

Tout chantier de réparation fera l'objet d'une expertise préalable exécutée par une société de contrôle agréée visant à identifier les causes des désordres, le niveau de dégradation, les possibilités technologiques de maintenance, réparation, renforcement.

Dans la mesure où la structure a été dimensionnée suivant les règles de l'Eurocode 2 avant renforcement, la fiabilité de la structure prenant en compte la section effective des aciers existants devra être vérifiée à l'ELU vis-à-vis de la combinaison d'action de type accidentelle en considérant la contrainte de l'acier égale à f_{yk} .

Sachant que la structure a été dimensionnée suivant les règles de l'Eurocode 2 avant renforcement, la validité des conditions d'enrobage des aciers (classe d'exposition, classe structurale) pour les classes d'environnement concernant l'ouvrage avant et après réparation seront vérifiées. Si ces conditions ne sont pas respectées, avant renforcement, une mise en conformité sera effectuée.

2.3.6. Dimensionnement des renforcements en flexion pour les structures en béton armé suivant l'Eurocode 2.

Les justifications à effectuer, vis-à-vis du moment de flexion, pour les éléments en béton renforcés par le collage de la grille bidirectionnelle, 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.

Limitation des contraintes :

- Une limite de la contrainte de compression du béton à $\sigma_{clim} = 0,60 f_{ck}$ sous combinaison caractéristique ;
- Une limite de la contrainte de compression du béton à $\sigma_{clim} = 0,45 f_{ck}$ sous combinaison quasi-permanente.

Cette justification est menée en limitant la contrainte finale dans les armatures tendues existantes tel que décrit dans le Dossier Technique. La contrainte finale dans les armatures tendues existantes à la valeur $f_{s,lim} = 0,80 f_{yk}$ sous combinaison caractéristique. Dans tous les cas, il y a lieu de justifier la maîtrise de la fissuration conformément au §7.3 de la norme NF EN 1992-1-1 et son Annexe Nationale, notamment pour le risque de pénétration des agents agressifs.

Dans le cas d'une poutre renforcée à la flexion et à l'effort tranchant, la section de poutre prise en compte pour le dimensionnement à la flexion doit être la même que celle prise pour le dimensionnement à l'effort tranchant.

Le renforcement en flexion n'est pas admis dans le cas d'un moment négatif sur l'appui considéré sauf si la poutre est également renforcée au tranchant par des bandes de composites ancrées.

Le calcul du moment de service est réalisé conformément aux détails donnés dans la Dossier Technique.

Calcul à l'ELU : ce calcul est mené conformément aux détails donnés dans le Dossier Technique.

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 :

$$\text{A l'ELS : } v_{ad,d} = \min\left(1,5 \text{ MPa}; \frac{f_{tk}}{2}\right)$$

$$\text{A l'ELU (fondamental et accidentel) : } v_{ad} = \min\left(2,0 \text{ MPa}; \frac{f_{tk}}{1,5}\right)$$

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

2.3.6.1. Préambule

Le calcul des structures en béton armé renforcées par du Sika® Carbodur® Grid se fait selon les règles et les principes de l'Eurocode 2. La vérification s'appuie sur les hypothèses fondamentales du calcul du béton armé, à savoir :

Le béton tendu est négligé dans l'équilibre des sections.

Les sections planes restent planes après déformation (hypothèse de Navier - Bernoulli).

Non glissement de l'acier et du Sika® Carbodur® Grid au béton.

Pour le dimensionnement du renfort à l'ELU et l'ELS, des logigrammes de calcul sont présentés en Annexe 2 du Dossier Technique (Figure 5 et Figure 6 respectivement).

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

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

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

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

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

2.3.6.2. Caractéristiques des matériaux

2.3.6.2.1. Béton

La loi de comportement considérée pour le béton est donnée dans l'Eurocode 2, Partie 1-1, §3.1.

2.3.6.2.2. Acier

La loi de comportement considérée pour les aciers est donnée dans l'Eurocode 2, Partie 1-1, §3.2.

2.3.6.2.3. Composite

Les performances mécaniques du composite sont présentées dans l'Annexe 1 du Document Technique.

2.3.6.3. Actions et sollicitations

Les combinaisons d'actions à prendre en considération sont celles des Eurocodes 0 et 1.

2.3.6.4. Flexion à l'état limite ultime (ELU)

Les vérifications et les calculs doivent respecter la règle des pivots de l'Eurocode 2 :

PIVOT A : déformation limite des armatures existantes

PIVOT B : déformation limite du béton

PIVOT D : déformation limite du Sika® Carbodur® Grid (allongement)

Les déformations limites des armatures et du béton sont définies dans l'Eurocode 2

Les performances mécaniques du Sika® Carbodur® Grid (déformation et résistance admissibles) sont présentées dans l'Annexe 1 du Document technique.

Le moment résistant ultime de l'élément renforcé s'écrit :

$$M_{Rd} = \min\{M_{Rdc}; M_{Rds} + M_{Rdf}\}$$

M_{Rdc} : moment résistant ultime équilibré par le béton comprimé dans la section considérée.

$$M_{Rdc} = 0,8 x . f_{cd} . b . (d - 0,4x)$$

1er cas : Pivots A et B

L'allongement du composite est déterminé par :

$$\varepsilon_{fd} = \min\{1,1 \cdot (\varepsilon_{s,u,d} - \varepsilon_{s1}); \varepsilon_{fu,d}\}$$

ε_{s1} : déformation des aciers passifs avant mise en œuvre du renforcement

$\varepsilon_{s,u,d}$: déformation limite en traction des aciers

$\varepsilon_{fu,d}$: déformation limite en traction du Sika® Carbodur® Grid

Moment repris par les aciers tendus (supposés plastifiés) :

$$M_{Rd,s} = A_s \cdot f_{yd} \cdot z_s \text{ et } z_s \approx 0,9d$$

Moment repris par le composite :

$$M_{Rd,f} = A_f \cdot f_f \cdot z_f \text{ et } z_f \approx d$$

f_f est obtenue pour ε_{fd} à partir de la loi de comportement du Sika® Carbodur® Grid

2ème cas : Pivots B ou D, aciers passifs à la limite de la plastification

$$\varepsilon_{f,d} < 1,1 (\varepsilon_{s,yd} - \varepsilon_{s1})$$

$\varepsilon_{s,e,d}$: déformation limite élastique des aciers

Moment repris par les aciers tendus :

$$M_{Rd,s} = A_s \cdot f_{yd} \cdot z_s \text{ et } z_s \approx 0,9d$$

Moment repris par le composite :

$$M_{Rd,f} = A_f \cdot f_f \cdot z_f \text{ et } z_f \approx d$$

3er cas : Pivots B ou D, aciers non plastifiés

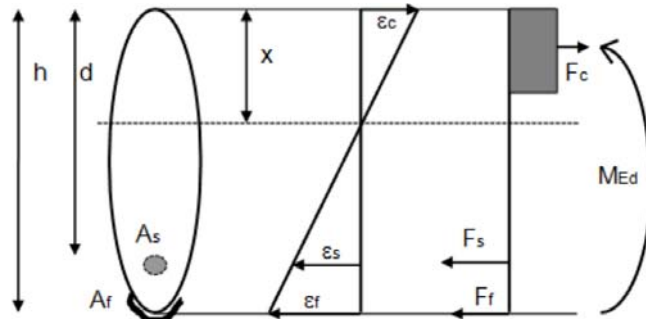
Alors $\varepsilon_s = \min \{ \varepsilon_{s0} + 0,91 \varepsilon_{fu,d} ; f_{yd}/E_s \}$

Moment repris par les aciers tendus :

$$M_{Rd,s} = A_s \cdot E_s \cdot \varepsilon_s \cdot z_s \text{ et } z_s \approx 0,9d$$

Moment repris par le composite :

$$M_{Rd,f} = A_f \cdot f_{f,d} \cdot z_f \text{ et } z_f \approx d$$



F_f , force à reprendre par le composite Sika® Carbodur® Grid, se déduit de l'équilibre de la section :

$$M_{Ed} = F_s \left(d - \frac{0,8x}{2} \right) + F_f \left(h - \frac{0,8x}{2} \right)$$

$$F_c = F_s + F_f$$

2.3.6.5. Flexion à l'état limite de service (ELS)

2.3.6.5.1. Principe

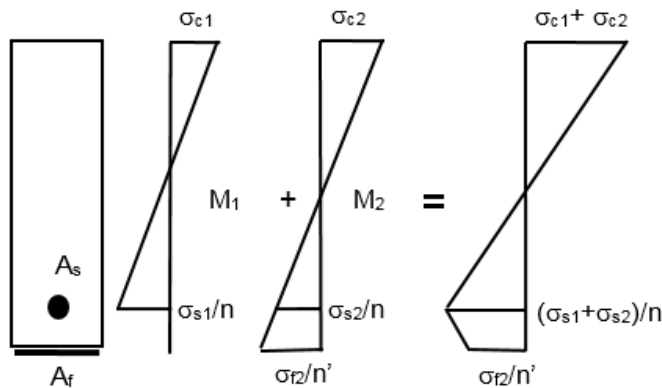
Le moment M appliqué à une section donnée se décompose en :

un moment M_1 appliqué avant renforcement par Sika® Carbodur® Grid,

un moment M_2 appliqué après renforcement.

On a : $M = M_1 + M_2$

L'état de contraintes total dans les matériaux résulte de la combinaison des contraintes sous la sollicitation M_1 sans le renfort Sika® Carbodur® Grid et des contraintes sous la sollicitation.



Il faut vérifier que :

$$\sigma_{s1} + \sigma_{s2} \leq \bar{\sigma}_s$$

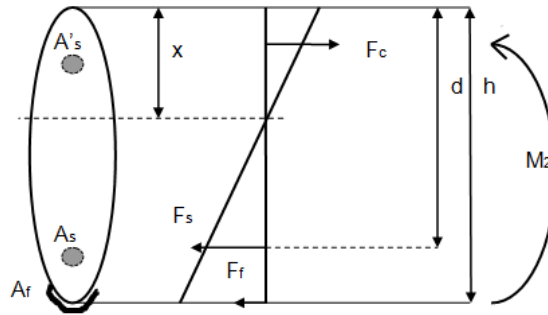
$$\sigma_{c1} + \sigma_{c2} \leq \bar{\sigma}_c$$

$$\sigma_{f2} \leq \sigma_{fs}$$

Les contraintes admissibles pour l'acier et pour le béton sont celles données dans les règles de calcul usuelles (Eurocode 2). Les performances mécaniques du Sika® Carbodur® Grid (notamment la contrainte admissible σ_{fs}) à l'ELS est donnée dans l'Annexe 1 du Document technique : $\sigma_{fs} = f_{f,d}$

2.3.6.5.2. Calcul des contraintes dans un cas général

Sous le torseur des charges supplémentaires apportées après renforcement $\{M_2\}$:



La section est en équilibre lorsque :

$$\{F_c + F_s + F'_s + F_f\} = 0$$

Où:

$$F_c = \int_0^x \frac{\sigma_{c2}}{x} \cdot b(y) \cdot y \cdot dy$$

$$F_s = A_s \sigma_{s2}$$

$$F'_s = A'_s \sigma'_{s2}$$

$$F_f = A_f \sigma_{f2}$$

Avec :

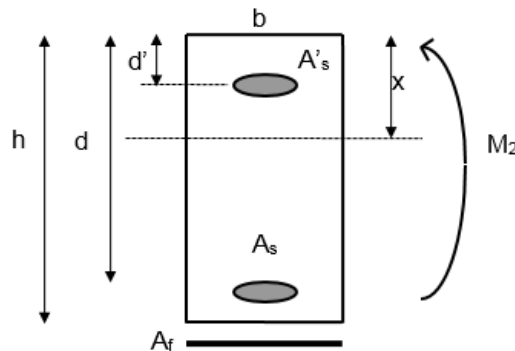
$$\sigma_{c2} = \frac{M_2 \cdot x}{I}$$

$$\sigma_{s2} = n \frac{M_2 \cdot (x - d)}{I}$$

$$\sigma_{f2} = n' \frac{M_2 \cdot (x - h)}{I}$$

2.3.6.5.3. Cas d'une section rectangulaire

Sous le torseur des charges supplémentaires apportées après renforcement $\{M_2\}$:



La position de l'axe neutre x est déterminée à partir de l'équation suivante :

$$\frac{bx^2}{2} + (nA_s + nA'_s + n'A_f) \cdot x - nA_s d - nA'_s d' - n'A_f h = 0$$

L'inertie de la section est donnée par :

$$I = \frac{bx^3}{2} + nA_s(d - x)^2 + nA'_s(d' - x)^2 + n_f A_f (h - x)^2$$

Les contraintes sont alors calculées par :

$$\sigma_{c2} = \frac{M_2 \cdot x}{I}$$

$$\sigma_{s2} = -n \frac{M_2 \cdot (d - x)}{I}$$

$$\sigma_{f2} = -n_f \frac{M_2 \cdot (h - x)}{I}$$

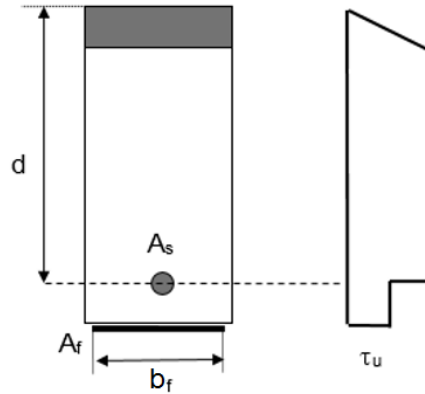
2.3.6.6. Espacement entre les renforts à la flexion

Les espacements entre les renforts à la flexion sont calculés conformément au §9.3.1.1(3) de la norme NF EN 1992-1-1 et son annexe nationale en précisant notamment les définitions des hauteurs efficaces.

2.3.6.7. Vérifications complémentaires (ELU/ELS)

2.3.6.7.1. Vérification de la contrainte d'entraînement

Les contraintes d'entraînement τ_u (ELU) et τ_e (ELS) à l'interface Sika® Carbodur® Grid - béton doivent être inférieures aux contraintes admissibles dans le béton $\bar{\tau}_u$ (ELU) et $\bar{\tau}_e$ (ELS) respectivement.



$$\tau_u = \frac{V_{Ed,ELU}}{b_f \cdot z} \cdot \frac{F_f}{F_s + F_f}$$

$$\tau_e = \frac{V_{Ed,ELS}}{b_f \cdot z} \cdot \frac{F_f}{F_s + F_f}$$

Où

b_f : largeur de composite Sika® Carbodur® Grid

V_{Ed} : valeur maximale de l'effort tranchant à l'ELU ou à l'ELS sur la longueur où est appliqué le Sika® Carbodur® Grid

F_f et F_s : forces respectives dans le Sika® Carbodur® Grid et dans les armatures longitudinales existantes (voir §2.3.6.4 pour l'ELU et §2.3.6.5 pour l'ELS)

Il faut s'assurer que $\tau_u < \bar{\tau}_u$ et que $\tau_e < \bar{\tau}_e$, où :

$$\bar{\tau}_u = \min\{v_{ad,d}; \tau_i\}$$

$$\bar{\tau}_e = \min\left\{v_{ad}; \frac{\tau_i}{1,5}\right\}$$

Avec : τ_i est la contrainte de cisaillement d'interface de Sika® Carbodur® Grid égale à 0,5 MPa. Les valeurs de $v_{ad,d}$ et v_{ad} sont données au paragraphe 2.3.6.

2.3.6.7.2. Longueur d'ancrage à la flexion

Il est impératif de prolonger la longueur d'ancrage d'une valeur a_L correspondant au décalage de la courbe de moment défini par le paragraphe 9.2.1.3 de la NF EN 1992-1-1 :

$$L_{anc,flexion} = L_{anc,d} + a_L$$

Avec :

- $L_{anc,d}$ la longueur utile d'ancrage, au minimum égale à 200 mm
- a_L le décalage de la courbe de moments défini dans le §9.2.1.3 de l'Eurocode 2 partie 1-1.

2.3.6.7.3. Vérification de la longueur d'ancrage

On vérifie que la contrainte de cisaillement du béton d'enrobage reste inférieure au cisaillement admissible en considérant une répartition moyenne de la contrainte de cisaillement.

$$\frac{F_f,ELU}{b_f \cdot l_{anc}} \leq \bar{\tau}_u$$

$$\frac{F_f,ELS}{b_f \cdot l_{anc}} \leq \bar{\tau}_e$$

b_f : largeur du composite Sika® Carbodur® Grid

F_f : forces respectives dans le Sika® Carbodur® Grid (voir §2.3.6.4 pour l'ELU et §2.3.6.5 pour l'ELS)

l_{anc} : longueur d'ancrage du composite égale à $l_{anc,d} = 200$ mm. Pour les éléments en flexion, la longueur d'ancrage est celle précisée au §2.3.6.7.2.

Avec :

$$\bar{\tau}_u = \min\{v_{ad,d}; \tau_i\}$$

$$\bar{\tau}_e = \min\left\{v_{ad}; \frac{\tau_i}{1,5}\right\}$$

Avec : τ_i est la contrainte de cisaillement d'interface de Sika® Carbodur® Grid égale à 0,5 MPa. Les valeurs de $v_{ad,d}$ et v_{ad} sont données au paragraphe 2.3.6.

2.3.6.8. Dimensionnement des renforcements à l'effort tranchant pour les poutres en béton armé suivant l'Eurocode 2.

2.3.6.8.1. Préambule

Une insuffisance d'armatures d'effort tranchant peut être compensée par du composite. Le composite se comporte comme une armature externe complémentaire aux étriers existants en acier, pour « recoudre » une fissure potentielle d'effort tranchant.

Le cas envisageable est le suivant :

Si la poutre se trouve sous une dalle, le composite Sika® Carbodur® Grid est collé sur les deux faces latérales en passant sous la poutre. Il reste une contrainte d'ancrage aux extrémités supérieures des bandes proches de la dalle. Il convient de tenir compte d'une longueur d'ancrage l_{anc} sur laquelle le composite n'est pas efficace.

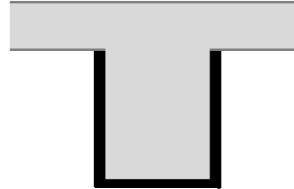
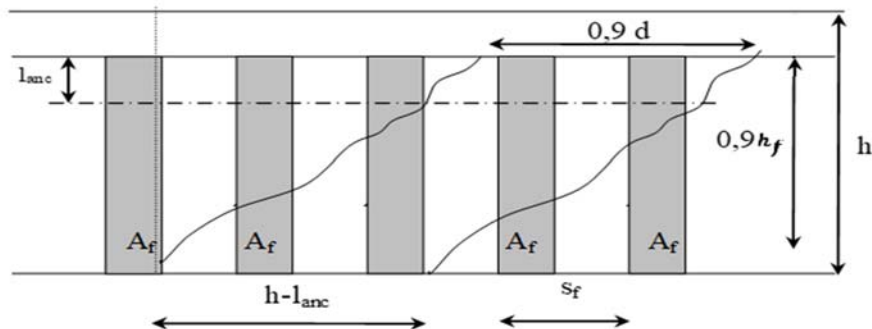


Figure 1 : Possibilité d'entourer partiellement la section d'une poutre avec une armature complémentaire en composite vis-à-vis de l'effort tranchant

Les poutres soumises à des efforts tranchants sont justifiées vis-à-vis de l'état limite ultime (ELU) pour une fissure d'effort tranchant dont l'inclinaison correspond à l'espacement des cadres. Il s'agit de déterminer la répartition des bandes de composite sur les faces latérales : leur largeur b_f et leur espacement s_f .



$$h_f = h - \text{épaisseur table}$$

Figure 2 : Renforcement à l'effort tranchant pour une fissure inclinée à 45° dans une poutre en T

On note que, dans le cas d'une poutre renforcée à la flexion et à l'effort tranchant, la section prise en compte pour le dimensionnement à la flexion doit être la même que celle prise pour le dimensionnement à l'effort tranchant

2.3.6.8.2. Caractéristiques des matériaux

2.3.6.8.2.1. Béton

La loi de comportement considérée pour le béton est donnée dans l'Eurocode 2, Partie 1-1, §3.1.

2.3.6.8.2.2. Acier

La loi de comportement considérée pour les aciers passifs est donnée dans l'Eurocode 2, Partie 1-1, §3.2.

2.3.6.8.2.3. Composite

Les performances mécaniques du composite sont présentées dans l'Annexe 1 du DTED.

2.3.6.8.3. Actions et sollicitations

Les combinaisons d'actions à prendre en considération sont celles des Eurocodes 0 et 1.

2.3.6.8.4. Dimensionnement à l'ELU

Le renforcement par du Sika® Carbodur® Grid est envisageable sous réserve de vérifier la résistance des bielles de compression en béton suivant les prescriptions de l'Eurocode 2 [$V_{Ed} \leq V_{Rd,max}$]. De plus, il est nécessaire de bien pouvoir assurer concrètement

l'accrochage des bandes de Sika® Carbodur® Grid et de vérifier que contrainte de cisaillement ultime à l'interface béton reste inférieure à la contrainte $\bar{\tau}_u$.

Les bandes peuvent être fermées (ceinturage de la poutre) ou ouvertes (en U).

A l'ELU, après fissuration et création du treillis, la résistance à l'effort tranchant de la section réparée ou renforcée V_{Rd} est le minimum des efforts que peuvent reprendre :

$$V_{Ed} \leq V_{Rd} = \min\{V_{Rd,s} + V_{Rd,f}; V_{Rd,max}\}$$

- V_{Ed} : effort tranchant ultime à la section considérée
- V_{Rd} : effort tranchant résistant
- $V_{Rd,max}$: effort tranchant maximum pouvant être repris par la section avant écrasement des bielles de compression (§6.2.3 (3) de l'EC2).
- $V_{Rd,s}$: Contribution des armatures passives :

$$V_{Rd,s} = \frac{A_{sw}}{S} z \frac{f_{ywd}}{\gamma_s} (\cot\theta + \cot\alpha) \sin\alpha$$

- $V_{Rd,f}$: Contribution du renfort Sika® Carbodur® Grid:

$$V_{Rd,f} = \alpha_v \frac{A_f f_{fud} \min[0,9d; (h_f - l_{anc,vu})]}{s_f} \cdot \frac{\sin(\beta + \theta)}{\sin\theta}$$

- α_v : coefficient minorant la contrainte de traction. S'il n'est pas possible d'ancrer le composite sur la longueur d'ancrage de calcul, lanc d, la contrainte de traction dans le composite ne peut pas être égale à f_{fud} . Du choix de la valeur de $l_{anc,vu} \leq l_{anc,d}$, va dépendre la valeur du coefficient α_v minorant la contrainte de traction dans le composite transversal à $\alpha_v f_{fud}$ avec $\alpha_v = \frac{l_{anc,vu}}{l_{anc,d}}$ ($0 \leq \alpha_v \leq 1$)

L'usage de bandes ceinturant la poutre est limité à des bandes perpendiculaires à l'axe longitudinal de la poutre (=90°).

2.3.6.9. Vérification de l'effort de traction induit dans les armatures longitudinales

Il convient également d'évaluer l'effort de traction supplémentaire induit dans les armatures longitudinales par l'effort tranchant $\Delta F_{td,v}$ (EC2 6.2.3 (7))

$$\Delta F_{td,v} = 0,5V_{Ed}(\cot\theta - \cot\alpha)$$

Cet effort doit être cumulé avec les efforts de torsion conformément à l'Eurocode 2 (§6.3).

Plus l'angle d'inclinaison des fissures sera faible, plus l'effort longitudinal induit sera important. Cet aspect doit donc être pris en compte lors de la détermination de l'angle d'inclinaison des fissures.

2.3.6.10. Vérification du taux de travail du béton

Le taux de cisaillement du béton doit être vérifié notamment à l'interface de la table de compression dans le cas des poutres en T. Le but étant de ne pas créer de zone fragile dans la zone d'ancrage du composite

2.3.6.11. Dimensionnement à l'ELS

Pour toutes les structures en béton, l'article 7.3.3 (5) de Eurocode 2-1-1 précise que dans le cas où :

- les dispositions constructives à la section 9 sont respectées ,
- les quantités d'aciers sont suffisantes vis-à-vis de l'ELU,

on peut considérer que la fissuration due aux sollicitations tangentées est maîtrisée.

Pour les bâtiments, la question de la maîtrise de la fissuration est à apprécier au cas par cas en fonction des particularités de la structure.

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.

2.3.6.12. Dispositions constructives

La position des fissures n'est pas connue a priori. Pour qu'aucune fissure potentielle ne puisse apparaître entre, les bandes de renforcement composite sans être reprise, la condition sur l'espacement des bandes Sika® Carbodur® Grid est :

$$s_f < (h_f - l_{anc})$$

2.4. Fabrication – Contrôles

2.4.1. Sika®CarboDur®-300 Grid

Les contrôles sont réalisés à chaque campagne de fabrication, à savoir tous les 1000 m² environ.

Nom de la grille	Sika®CarboDur®-300 Grid	Tolérance	Norme
Masse surfacique (g/m ²)	340	5%	EN 12127:1997
Poids écreu (g/m ²)	227	5%	EN 12127:1997

	Chaine	Trame		
Fils	12 K TORAY	12 K TORAY		
Nbre de fils (/10 cm)	T 700 SC	T 700 SC	0,50%	EN 1049-2:1999
Fils	EC9-34 tex Z			
Nbre de fils (/10 cm)	28			
Fils		EC9-68 tex Z		
Nbre de fils (/10 cm)		28		
Résistance à la traction (N/5 cm)	> 9500	> 9500		ISO 4606:1995
Elongation à la rupture (%)	3,5	3,5		
Type d'apprêt	Acrylique			
Epaisseur (mm)	0,8			
Armure	Pas de gaz + toile			
Dimensions standard (m x cm)	50	100	DIN 61101-1 + DIN ISO 9354	

Ces contrôles sont réalisés au sein du site de fabrication qui dispose d'un laboratoire certifié TUV.

SIKA s'engage à fournir les résultats des contrôles effectués à l'issue des productions, selon la fréquence et les critères de contrôles définis. Il s'agira d'un audit documentaire dont les éléments seront issus directement des laboratoires d'essai sur site de production.

La synthèse de ces contrôles doit être transmise une fois par an au CSTB.

Au sens de la loi Française, SIKA titulaire du procédé, qu'il commercialise de manière exclusive est considéré comme étant le fabricant. A ce titre il fait effectuer les contrôles qualité selon un plan établi conjointement avec son sous-traitant.

2.4.2. Sika MonoTop®-3200 Grid

Les contrôles sont réalisés à chaque campagne de fabrication qui est d'environ 7 tonnes (2 lots de fabrication) dans le laboratoire de SIKA situé sur le site de production.

SIKA dispose de laboratoires de contrôle sur chacun de ses sites de production et les caractéristiques des produits fabriqués sont contrôlés de manière systématique à chaque campagne sur la base de critères d'évaluation propres à chaque type de produit fabriqué.

Dans le cas de Sika MonoTop®-3200 Grid, le temps de prise et la valeur des résistances mécaniques à différentes échéances sont contrôlés.

SIKA est audité dans le cadre du marquage CE et de la conformité aux normes NF EN 1504-3 et 6 pour le site producteur (37 Paviers).

2.5. Travaux préparatoires

2.5.1. Généralités

Le bon fonctionnement d'une réparation ou d'un renforcement par le procédé Sika® Carbodur® Grid exige un support de bonne qualité. Les caractéristiques indiquées ci-après sont considérées comme minimales :

- Cohésion superficielle après préparation du support : $\geq 1,5$ MPa (essai de traction directe)
- Support humidifié à refus la veille de l'intervention (au moment de la préparation des supports) et ré-humidifié au moment de l'application du système Sika® Carbodur® Grid.

Les supports seront âgés de 28 jours au minimum au moment de l'application du système Sika® Carbodur® Grid.

Le maître d'œuvre prendra soin de faire procéder aux tests nécessaires afin de déterminer l'état des ouvrages et la pertinence de la solution de réparation proposée (diagnostic réalisé par un organisme agréé).

La réparation des dégradations superficielles du béton doit être traitée en se référant à la norme NF P 95-101 et NF EN 1504-3

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

2.5.2. Préparation du support

La préparation a pour objet d'éliminer toute trace superficielle d'huile, de graisse, de laitance, de produit de décoffrage et autres souillures, de toute partie hétérogène ou ne permettant pas de garantir une cohésion superficielle du support minimale de 1,5 MPa.

Les supports contaminés par la pénétration de chlorures, sulfates, graisses, etc., sont exclus.

La préparation du support peut être réalisée par sablage, grenailage, décapage au marteau à aiguilles, ponçage au disque diamanté,...

Il appartient à l'entreprise de déterminer le moyen le plus adapté pour éliminer les éléments polluants ou pouvant nuire à l'adhérence du système (cohésion de surface du support $\geq 1,5$ MPa).

Pour le procédé Sika® Carbodur® Grid, les arêtes vives doivent être arrondies, jusqu'à un rayon d'au moins 20 mm, par exemple par ponçage au disque diamanté.

Dans tous les cas, le support après préparation doit être soigneusement dépoussiéré par aspiration (matériel professionnel).

2.5.3. Planéité du support

- Après préparation, la tolérance de planéité du support sera de 10 mm sous la règle de 2 m.
- Les balèbres de coffrage et saillies ne doivent pas excéder 0,5 mm
- Si ces conditions ne sont pas vérifiées, il faut procéder à des ragréages ponctuels à l'aide du mortier SikaTop® - 121 Surfaçage ou Sika MonoTop® - 4012 F (cas de fortes épaisseurs).

2.5.4. Réception du support

Après préparation du support, il doit être procédé à sa réception.

Elle doit comporter :

- Le contrôle de la planéité,
 - La mesure de la cohésion superficielle par des essais de traction directe,
 - Le relevé des fissures éventuelles.

2.5.5. Dispositions correctives

Elles comprennent notamment :

- Les reprises de la planéité par ragréage avec SikaTop® - 121 Surfaçage pour rentrer dans les tolérances définies au paragraphe 2.5.3
- L'injection des fissures d'ouverture supérieure à 0,3 mm avec un coulis formulé spécialement à base de liants hydrauliques et d'adjuvants spéciaux afin de recréer le monolithisme des éléments de structure et d'éviter toute discontinuité de la surface de collage

2.6. Disposition de mise en œuvre

2.6.1. Préparation des armatures Sika®CarboDur®-300 Grid

Découper la grille aux dimensions définies par le Bureau d'Etudes, à l'aide de ciseaux adaptés.

La vérification de la géométrie et des dimensions du renfort ainsi préparé doit être effectuée avant sa mise en place.

Lorsque les renforts sont découpés et vérifiés selon le schéma ci-dessus, ils sont stockés dans un endroit propre sec, à l'abri de toute pollution ultérieure.

Il est impératif de ne pas plier les renforts prédécoupés afin de ne pas provoquer le cisaillement de la fibre de la grille. L'enroulement des renforts sera effectué sur mandrin.

2.6.2. Préparation Sika MonoTop®-3200 Grid

Le gâchage de chaque sac de mortier Sika MonoTop®-3200 Grid sera effectué à l'eau propre.

La quantité d'eau par sac de 25 kg de mortier Sika MonoTop®-3200 Grid est définie à 4 litres.

Verser la quantité d'eau définie dans un seau, puis ajouter progressivement la poudre en malaxant à l'aide d'un malaxeur électrique.

Le mélange sera maintenu jusqu'à obtention d'une pâte onctueuse de consistance plastique d'aspect uniforme.

Avant utilisation du mortier, un temps de repos de 2 à 3 minutes sera ménagé.

Un ré-malaxage quelques instants avant son application sur le support est nécessaire.

Lors de la mise en œuvre, la température ambiante devra être comprise entre +5 et + 35°C.

2.6.3. Pose du système Sika® Carbodur® Grid

Le support béton aura été au préalable nettoyé de manière à éliminer toute trace de saleté de quelque nature que ce soit.

Les défauts de planimétrie et éventuels bullages auront été « rattrapés » à l'aide de Sika MonoTop®-3200 Grid ou selon les cas de Sika MonoTop® - 4012.

Le support aura été au préalable humidifié à refus la veille du jour où la mise en œuvre du procédé de renforcement Sika® Carbodur® Grid a lieu.

Une humidification du support est à renouveler le jour de l'application du système.

L'application du mortier est faite manuellement à l'aide d'une lisseuse en serrant fortement le mortier sur le support au préalable préparé et humidifié.

Aussitôt la couche de mortier appliquée et serrée au support, passer une lisseuse crantée afin de structurer la surface de cette couche de mortier (création de sillons longitudinaux).

Une mise en œuvre par projection du mortier est une alternative tout aussi efficace, dans ce cas de figure, le serrage sera effectué à l'aide de la lisseuse crantée à l'identique de la mise en œuvre manuelle.

Sur cette couche de mortier structurée (sillons réalisés avec la lisseuse crantée dont les dents sont de format 6X6), positionner la grille de renfort selon le plan de calepinage défini par le bureau d'étude.

Plaquer la grille de renfort sur le mortier, maroufler soigneusement cette grille afin de faire percoler le mortier au travers de cette grille.

Lorsque la grille est intégrée dans le mortier, une couche de recouvrement de mortier sera appliquée.

Le lissage de la couche de finition doit être réalisé lorsque le mortier est encore frais.

Il est important de noter que chaque strate de renfort, composée d'une grille et de deux couches successives de mortier est d'une épaisseur d'environ 3 mm (cf. Tableau A1-1 Annexe 1).

2.7. Finition – Protection

2.7.1. Finition revêtement associés

Les revêtements associés au système Sika® Carbodur® Grid peuvent être les suivants :

Un mortier de finition et/ou de protection à base de ciment ou de mortiers à base de liants mixte (LHM).

Si nécessaire, nettoyer la surface du mortier appliqué en couche de finition sur le renfort, prendre soin d'humidifier le système. Appliquer directement sur le support ainsi préparé la finition à base de ciment souhaitée.

2.7.2. Protection au feu

La structure renforcée doit être justifiée selon la norme NF EN 1992-1-2 et son AN 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 aciers existants.

2.8. Contrôle à la mise en œuvre

2.8.1. Contrôle du support

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

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

Un exemple de fiche d'autocontrôle figure en fin du présent document.

2.8.2. Contrôle de la cohésion superficielle

Après préparation du support, procéder à une série d'essais de traction directe sur le support afin d'apprécier sa cohésion superficielle et de valider la méthode de préparation utilisée (voir paragraphe 2.5.2)

Les valeurs mesurées au dynamomètre de traction directe devront être au moins égales à celles prises en compte dans les calculs. Dans le cas contraire, l'entreprise doit informer immédiatement le Maître d'œuvre des valeurs mesurées.

2.8.3. Contrôle de la planéité

Le support, sans décrochement ou saillie supérieure à 0,5 mm, doit respecter la condition de planimétrie suivante : 10 mm sous la règle de 2 m (voir paragraphe 2.5.3)

2.8.4. Relevé des fissures

Voir paragraphes 2.5.4 et 2.5.5.

2.8.5. Contrôle des produits

Relever les numéros de lots des produits utilisés dans les systèmes Sika® Carbodur® Grid (imprimé sur les sacs de mortiers Sika MonoTop®-3200 Grid et sur l'étiquette apposée sur le rouleau de Sika®CarboDur®-300 Grid).

2.8.6. Contrôles lors des travaux

Noter les dates et heures de la mise en place des Sika®CarboDur®-300 Grid et Sika MonoTop®-3200 Grid.

- Relever simultanément la température ambiante, la température du support.

2.8.7. Contrôles finaux

- Vérifier que le collage est continu sur toute la surface des éléments renforcés.

Cette vérification est effectuée par sondage sonore du support après un délai de 24 heures minimum après mise en place du système, ou par le biais de thermographie infra rouge (gradient thermique au niveau de la zone défectueuse).

- Si la surface renforcée présente des défauts, une réfection du renfort est à envisager.

2.9. Assistance technique

La Société SIKA assure l'information et l'aide aux entreprises qui en font la demande pour le démarrage d'un chantier afin de préciser les dispositions spécifiques de mise en œuvre du produit (ou procédé). Cette assistance ne peut être assimilée ni à la conception de l'ouvrage, ni à la réception des supports, ni à un contrôle des règles de mise en œuvre, ces dernières étant décrites dans le présent document, il appartient à l'entreprise applicatrice de les respecter.

En ce qui concerne spécifiquement le procédé par le présent AT, une formation est délivrée sans laquelle une entreprise ne peut approvisionner les produits concernés par les systèmes de renforcement.

Par ailleurs, les entreprises formées s'engagent (signature d'une charte bi latérale) à respecter les règles de mise en œuvre décrites dans le présent document.

SIKA attache une grande importance au fait que le dimensionnement des renforts soient réalisés par une structure habilitée et compétente (Bureau d'étude structure).

2.10. Mention des justificatifs

2.10.1. Résultats Expérimentaux

1. Comportement en traction uni-axiale quasi-statique du composite Sika®CarboDur®-300 Grid (ENISE)
2. Evaluation de la longueur critique d'ancrage Sika®CarboDur®-300 Grid (ENISE)
3. Caractérisation de la fissuration dans le composite Sika®CarboDur®-300 Grid (ENISE)
4. Stabilité en température du composite Sika®CarboDur®-300 Grid (ENISE)
5. Etude exploratoire en fatigue du composite Sika®CarboDur®-300 Grid (ENISE)
6. Evaluation de la cohésion superficielle du composite Sika®CarboDur®-300 Grid sur support béton (ENISE)
7. Résultats expérimentaux sur poutres en flexion (moment fléchissant) renforcées par matériau composite Sika®CarboDur®-300 Grid (ENISE)
8. Résultats expérimentaux sur des poutres en béton armé vis-à-vis de l'effort tranchant par matériau composite Sika®CarboDur®-300 Grid (ENISE)
9. Etude portant sur le vieillissement du système Sika®CarboDur®-300 Grid (ENISE)

2.10.2. Références chantiers

2.10.2.1. Données environnementales

Le procédé « Sika® Carbodur® Grid » 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.

2.10.2.2. Liste de références chantiers

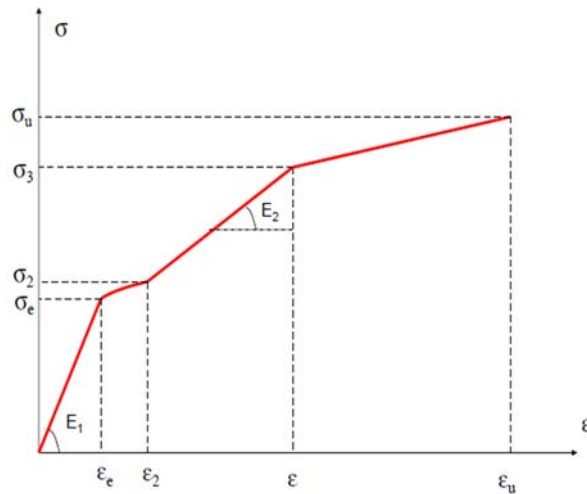
Depuis sa commercialisation à partir de février 2016, le système a été utilisé sur plusieurs chantiers dont voici la liste (non exhaustive) :

1. La Trinité Porhœt, réservoir d'eau potable sur tour, bureau d'étude, Cabinet BOURGOIS, Agence de Vannes, rue Alain GERBAULT ZI du Prat 56037 VANNES Cedex.
Entreprise ayant réalisé les travaux, Réhabilitation Ouest Etanchéité (ROE), « La Croûte », 50530 CHAMPCEY.
Maitre d'ouvrage SIAEP local.
2. La Chapelle Faucher, réservoir d'eau potable au sol, bureau d'études, EAU et STRUCTURE rue Edmond Michelet 24 THIVIERS.
Entreprise ayant réalisé les travaux VIGIER TECNI COMPOSITES, rue Edmond Michelet 24 THIVIERS.
Maitre d'ouvrage SIAEP local.
3. STEP de SOUESMES (45), renforcement de bassins d'usine de traitement des eaux usées, bureau d'études AXIOME Ingénierie DOURDAN (28).
Entreprise ayant réalisé les travaux SEGEC 70 Avenue Aristide BRIAND 36400 LA CHÂTRE.
Maitre d'ouvrage mortier collectivité de Souesmes SIAEP.
4. Logement d'habitation individuel situé sur la ville du Havre dont le maitre d'ouvrage est « HABITAT 76 » 17 Rue Malherbe, 76040 ROUEN.
L'opération a consisté à renforcer la dalle « haut de rez de chaussée » de logements HLM (pavillons), le bureau d'études a été celui d'EIFFAGE CONSTRUCTION HAUTE NORMANDIE, 6 rue Jean Rostand 76142 LE PETIT QUEVILLY
La maîtrise d'œuvre a été réalisée par E.AMANTEA ARCHITECTES 61-63 Rue Réaumur 75002 PARIS.
5. La glacière municipale du port d'Etel (56). Entreprise ayant réalisé les travaux, Société LEFEVRE
6. Confortement plancher Centre des finances publiques, 42600 Montbrison. Bureau d'études pour le bâtiment. Ingénierie Construction
7. Réparation du réservoir Mittelbergheim (67). SDEA Schiltgheim.
8. Renforcement de voile béton après découpe pour passage d'une porte, Société Générale, La Défense (92).

2.11. Annexes du Dossier Technique

Annexe 1 : Caractéristiques des composites Sika® Carbodur® Grid

Loi de comportement à la traction du composite



Caractéristiques géométriques du composite Sika® Carbodur® Grid

Tableau A1-1 : Epaisseur du composite Sika® Carbodur® Grid

Référence du renfort	Nombre de couche (grille)	Epaisseur du composite	Epaisseur de calcul du composite
Sika® Carbodur® Grid	1	3 mm +/- 0,3 mm	3 mm

Caractéristiques mécaniques du composite Sika® Carbodur® Grid à l'ELU

Tableau A1-2 : Résistance à la traction ELU

Propriété	Valeur
Résistance caractéristique en traction du composite $f_{f,u,k}$	25,64 MPa
Résistance de calcul en traction du composite $f_{f,u,d}$	11,9 MPa
Allongement de calcul à la rupture ε_{fud}	0,27 %
Contrainte ultime équivalente dans les fibres $\sigma_{ff,u,d}$	595 MPa

Caractéristiques mécaniques du composite Sika® Carbodur® Grid à l'ELS

Tableau A1-3 : Résistance à la traction ELS

Propriété	Valeur
Résistance caractéristique limite élastique en traction du composite $f_{f,e,k}$ ($\varepsilon_{ELS} = 0,01\%$)	6,1 MPa
Résistance de calcul limite en traction du composite $f_{f,e,d}$ ($\varepsilon_{ELS} = 0,01\%$)	2,0 MPa
Résistance caractéristique limite en traction du composite $f_{f,k}$ ($\varepsilon_{ELS} = 0,19\%$)	10,0 MPa
Résistance de calcul limite en traction du composite $f_{f,d}$ ($\varepsilon_{ELS} = 0,19\%$)	3,25 MPa
Module Elastique E_f pour $0 < \varepsilon_f < 0,01\%$ (E_1 sur la loi de comportement ci-dessus)	52 000 MPa
Module Elastique E_f pour $0,01\% < \varepsilon_f < 0,19\%$ (E_2 sur la loi de comportement ci-dessus)	2 200 MPa

Annexe 2 : LOGIGRAMME DE DIMENSIONNEMENT DU Sika® CarboDur® Grid

Figure 6 : Logigramme de dimensionnement à l'ELS

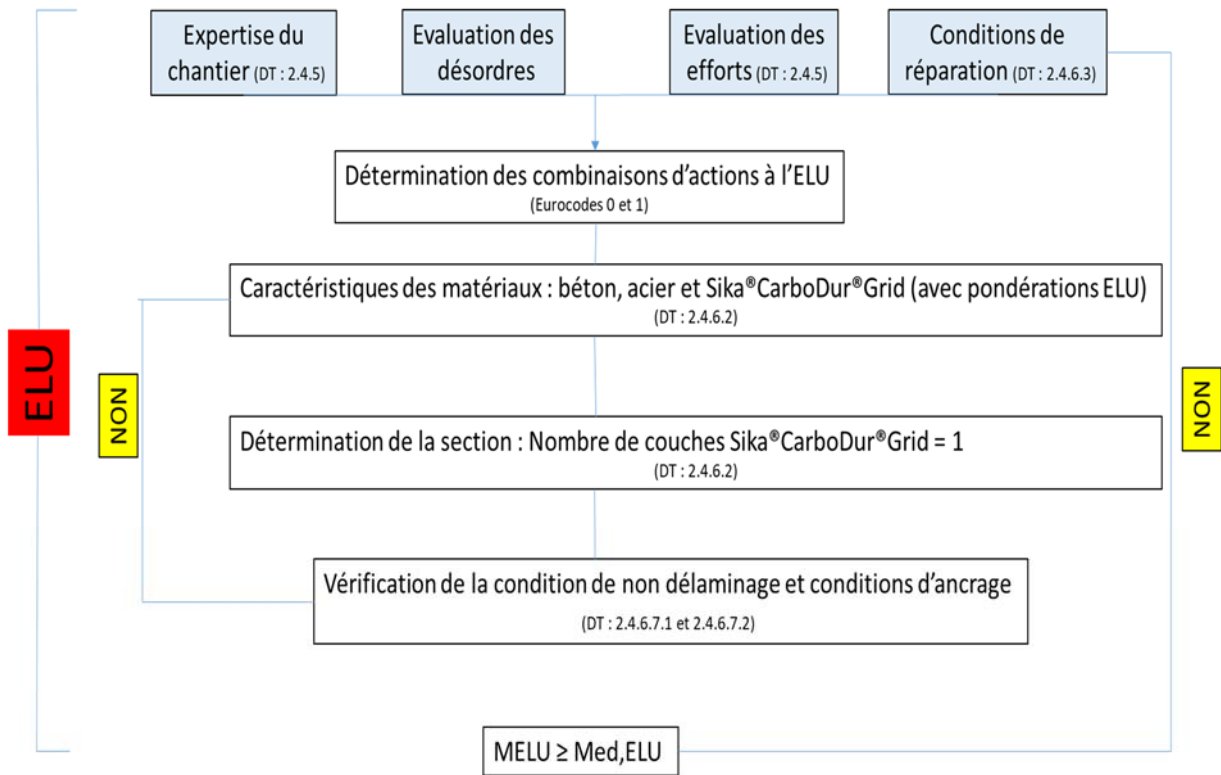
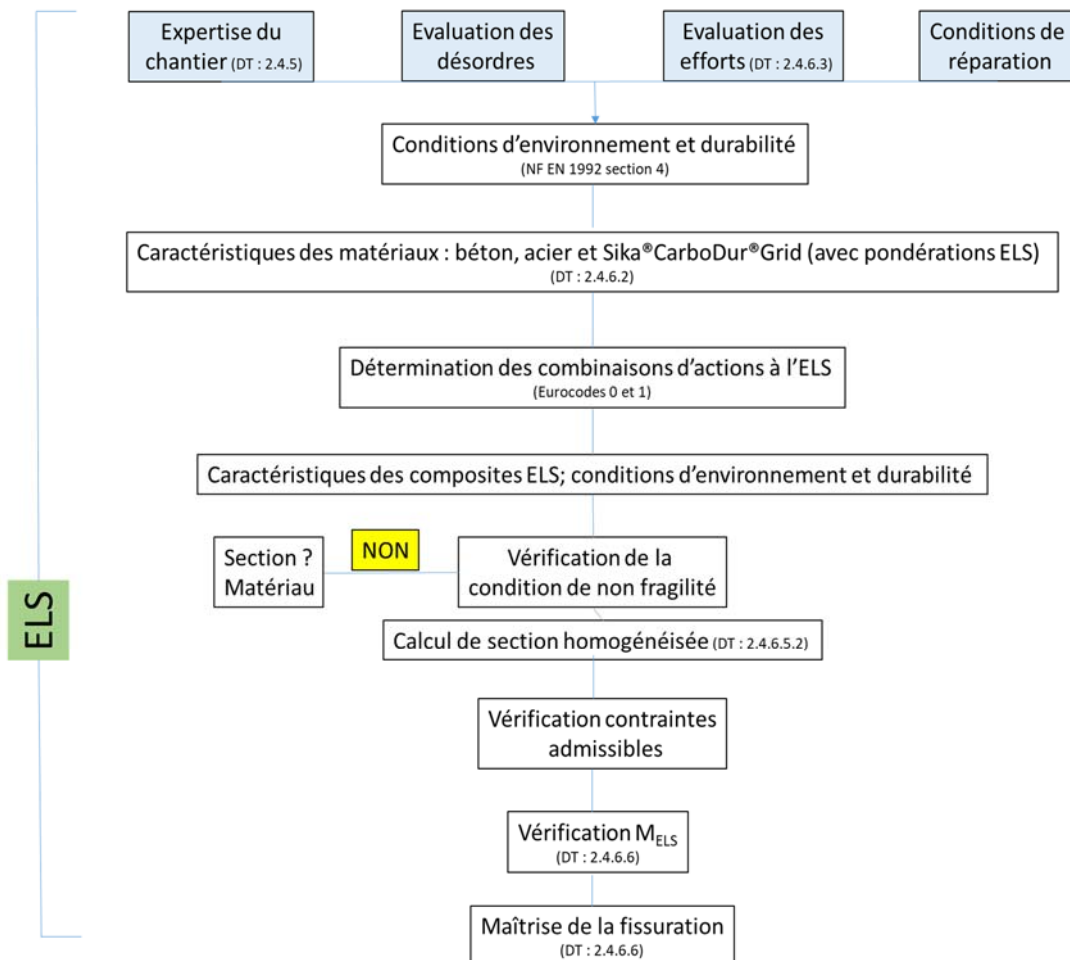


Figure 5 : Logigramme de dimensionnement à l'ELU



Annexe 3 : FICHE D'AUTOCONTRÔLE DE CHANTIER

Entreprise : Date :

Référence chantier :
.....

Type de structure à renforcer :
.....

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

Nom de la personne effectuant le relevé :
.....

PREPARATION DU SUPPORT Date :

Méthode de préparation utilisée :
.....

Respect de la planéité requise : Oui Non

Mesure de la cohésion superficielle :
.....

Localisation :

Valeurs en MPa :

Présence de fissures : Oui Non

Si oui, localisation :

PRODUITS

- Coulis d'injection des fissures N° de lot :

- Mortier de réparation du béton N° de lot :

- Sika MonoTop®-3200 Grid N° de lot

- Sika®CarboDur®-300 Grid N° de lot :

VERIFICATION A LA MISE EN ŒUVRE

CONDITIONS CLIMATIQUES (variations extrêmes pour la journée)

Mesure simultanée des 3 critères suivants :

• Température ambiante :
.....

• Taux d'humidité relative :
.....

• Température du support :
.....

VERIFICATIONS APRES MISE EN OEUVRE

Vérification visuelle du collage : Oui Non

Détection de la présence de vide : Oui Non

Si oui, localisation :

REMARQUES EVENTUELLES

.....
.....