Avis Technique 3.3/18-965_V1

Renforcement d'éléments de structure par collage d'une grille bidirectionnelle avec une matrice cimentaire

Repair and Strengthening of structural elements of constructions with a bidirectional grid with a cement matrix

LANKOSTRUCTURE CARBOGRID

Titulaire : Société PAREXGROUP SA
19 Place de la Résistance.
CS 50053
FR-92445 Issy les Moulineaux

Tél. : 0141172059
E-mail : eric.houe@parex-group.com
Internet : www.parexlanko.com.

Groupe Spécialisé n°3.3

Structures tridimensionnelles, ouvrages de fondation et infrastructure

Publié le 6 novembre 2019

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

(arrêté du 21 mars 2012)

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

Les Avis Techniques sont publiés par le Secrétariat des Avis Techniques, assuré par le CSTB. Les versions authentifiées sont disponibles gratuitement sur le site internet du CSTB (http://www.cstb.fr)
© CSTB 2019

Le Groupe Spécialisé n°3.3 « Structures tridimensionnelles, ouvrages de fondation et d'infrastructure » de la Commission chargée de formuler les Avis Technique, a examiné le 10 Juillet 2018, le procédé de renforcement par collage d'une grille bidirectionnelle avec une matrice cimentaire LANKOSTRUCTURE CARBOGRID, présenté par la société PAREX GROUP. Il a formulé, sur ce procédé, l'Avis Technique ci-après. Cet Avis est formulé pour les utilisations en France Européenne et les DROM-COM.

1. Définition succincte

1.1 Description succincte

Procédé de renforcement d'éléments de structure, consistant à coller sur la surface des éléments visés une grille bidirectionnelle en fibres de carbone Grille 32 CARBOGRID TRM, à l'aide d'un mortier colle formulée à base de liants hydrauliques, mono-composante.

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

1.2 Identification

Les composants sont livrés sur le site de mise en œuvre et identifiés comme indiqué dans la partie « Dossier Technique Etabli par le Demandeur ».

2. AVIS

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.

2.1 Domaine d'emploi accepté

Le système de renforcement par collage d'une grille bidirectionnelle est applicable au renforcement au moment fléchissant et à l'effort tranchant de poutres en béton armé.

La société PAREXGROUP 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.

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 permanentes et variables au sens de la norme NF EN 1991-1.

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 n'excèdent pas 80 °C en service continu et en pointe.

2.2 Appréciation sur le procédé

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

2.211 Stabilité

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

2.212 Sécurité au feu

2.2121 Réaction au feu

Le procédé LANKOSTRUCTURE CARBOGRID ne bénéficiant pas d'un classement conventionnel en réaction au feu, il est considéré « non classé ». 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.

2.2122 Résistance au feu

En ce qui concerne la résistance au feu, le procédé LANKOSTRUCTURE CARBOGRID 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.

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

Pour la manipulation du mortier colle et son application, il y a lieu de respecter les dispositions habituelles de protection vis-à-vis des mortiers hydrauliques (gants de protection, etc.) et la manipulation de la grille bidirectionnelle. En dehors de ces points, les conditions de mise en œuvre ne sont pas de nature à créer d'autre risque spécifique.

2.214 Données environnementales

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

2.215 Aspects sanitaires

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

2.22 Durabilité - Entretien

La colle 52 CARBOGRID 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 :

1. Ambiance agressive (type solvant, ambiance cryogénique) ;
2. Lorsque la température est susceptible de dépasser la température maximale d'utilisation indiquée au paragraphe 2.1.

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.

2.23 Fabrication et contrôle

Cet Avis est formulé en prenant en compte les contrôles et modes de vérification de fabrication décrits dans le Dossier Technique Etabli par le Demandeur (DTED).

2.24 Finitions

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

2.25 Prescriptions Techniques

2.251 Conditions de conception et de calcul

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

L'utilisation du procédé LANKOSTRUCTURE CARBOGRID en deux couches ou plus n'est pas admise.

2.2511 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) $G + Q_1 + \Sigma\psi_{oi}Q_i$, où G représente la sollicitation due à la charge permanente et $\Sigma\psi_{oi}Q_i$ 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 :

- $(\boldsymbol{R_1}) \geq \mathbf{0,63}(\boldsymbol{S_2})$, dans le cas d'un élément principal, dont la rupture est susceptible d'entraîner celle d'autres éléments (poutre porteuse, par exemple),
- $(\boldsymbol{R_1}) \geq \mathbf{0,50}(\boldsymbol{S_2})$, 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 :

$\boldsymbol{R_1}$: capacité résistante à l'ELU, en situation fondamentale, de l'élément non renforcé.

$\boldsymbol{S_2}$: sollicitation agissante à l'ELU, en situation fondamentale, sur l 'élément renforcé.

2.2512 Renforcement des éléments en béton armé vis-à-vis du moment de flexion

Le dimensionnement à la flexion du procédé de renforcement LANKOSTRUCTURE CARBOGRID est effectué selon les Eurocodes, conformément au paragraphe 4.4 du Dossier Technique établi par le Demandeur

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 de la poutre à renforcer (sans prise en compte de la table de compression des sections en T).

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.

Cette justification est menée en prenant en limitant la contrainte finale dans les armatures tendues existantes tel que décrit dans le Dossier Technique établi par le demandeur. La contrainte finale dans les armatures tendues existantes à la valeur $f_{s,lim} = 0{,}80\, f_{yk}$ sous combinaison caractéristique

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.

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

Calcul à l'ELU : ce calcul est mené conformément aux détails donnés dans le dossier technique établi par le demandeur.

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

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

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

Vérification de la contrainte d'entrainement **:**

La vérification des contraintes d'entraînement à l'ELU (τ_u) et à l'ELS (τ_e), à l'interface LANKOSTRUCTURE CARBOGRID - béton est réalisée conformément au paragraphe 4.461 du Dossier Technique, 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 est la contrainte de cisaillement d'interface de LANKOSTRUCTURE CARBOGRID égale à 0,5 MPa
- $v_{ad,d}$ et v_{ad} sont les valeurs de contraintes de cisaillement limites à l'interface composite béton définies dans le paragraphe précédent.

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

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

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 de la poutre à renforcer (sans prise en compte de la table de compression des sections en T).

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

Le dimensionnement à l'effort tranchant du procédé de renforcement LANKOSTRUCTURE CARBOGRID est effectué selon les Eurocodes conformément au paragraphe 4.5 du Dossier Technique.

Calcul à l'ELU : ce calcul est mené conformément aux détails donnés dans le dossier technique établi par le demandeur.

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.

2.26 Conditions de mise en œuvre

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

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

Conclusions

Appréciation globale

L'utilisation du procédé dans le domaine d'emploi accepté (cf. paragraphe 2.1) est appréciée favorablement.

Validité

A compter de la date de publication présente en première page et jusqu'au 31 juillet 2021.

Pour le Groupe Spécialisé n°3.3
Le Président

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.

De plus, étant donné les faibles valeurs des caractéristiques mécaniques en traction des systèmes composites « LANKOSTRUCTURE CARBOGRID » par rapport aux systèmes de renforcement carbone-époxy le groupe tient à préciser que le taux de renforcement conféré par le procédé est relativement faible : le procédé « LANKOSTRUCTURE CARBOGRID » permet donc principalement de limiter et de contrôler la fissuration en surface des éléments renforcés.

Le Rapporteur du Groupe Spécialisé n°3.2

A. Description

1. Principe

1.1 Définition

Le système LANKOSTRUCTURE CARBOGRID est destiné à renforcer les structures en béton armé par le collage d'une grille de fibres de carbone 32 CARBOGRID TRM (fibres de carbone imprégnées d'une matrice organique) à l'aide d'un mortier spécialement formulé, 52 CARBOGRID Colle.

Tableau 1 : Composite LANKOSTRUCTURE CARBOGRID

Gamme de renforcement TRC	Grille	Mortier colle
LANKOSTRUCTURE CARBOGRID	32 CARBOGRID TRM	52 CARBOGRID Colle

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. Domaine d'emploi

2.1 Domaine d'emploi accepté

Le présent Dossier Technique concerne les ouvrages neufs ou existants en béton armé.

L'objectif du renforcement est d'accroitre la résistance au moment de flexion en travée de poutres ou de dalles, et la résistance à l'effort tranchant de poutres.

Les ouvrages nécessitant des dispositions parasismiques au sens de l'arrêté du 22 octobre 2010 modifié ne sont pas visés.

Tenue en température en service continu et en pointe de 80°C.

2.2 Types de charges

Seules les applications sous charges statiques sont visées

2.3 Zones géographiques

Il est possible d'utiliser le procédé en France Européenne et les DROM.

3. Matériaux

3.1 Grille 32 CARBOGRID TRM

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 **32 CARBOGRID** 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 minimum d'applicabilité du renfort).

3.11 Identification

32 CARBOGRID TRM est identifié par un numéro de lot composé de la date de fabrication suivi d'un code de production.

3.12 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

3.2 52 CARBOGRID colle

52 CARBOGRID Colle 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

52 CARBOGRID Colle est conforme à la norme NF EN 1504-3 de classe R3 et fait donc l'objet d'un Marquage CE.

3.21 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)

3.22 Performances

- Résistance à la compression : 35 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

3.3 Produits complémentaires

532 UTAREP H 80 C

Mortier colle époxydique à deux composants sans solvant, de couleur grise :

- Composant A : résine blanche
- Composant B : durcisseur noir

Elle est utilisée pour les ragréages et surfaçages localisés du support.

Densité : 1,5 environ.

745 LANKOCOTE CM 660

Micro-mortier à base de liant hydraulique à gâcher avec une résine en dispersion aqueuse destiné à recouvrir le système LANKOSTRUCTURE CARBO.

228 LANKOLASTIC

Micro mortier assoupli à base de liant hydraulique à gâcher avec une résine en dispersion aqueuse destiné à recouvrir le système LANKOSTRUCTURE CARBO.

720 LANKOREP EPOXY

Mortier époxy bi-composant destiné aux rattrapages de surfaces en faible ou épaisseur (jusqu'à 20 mm).

Application sur primaire époxy 533 UTAREP H 80 FLU.

533 UTAREP H 80 FLU

Primaire époxy bi composant destiné au collage de béton frais sur béton durci, primaire pour mortiers époxy.

731 LANKOREP STRUCTURE

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

735 LANKOREP RAPIDE

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

770 LANKOREP FIN RAPIDE

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

777 LANKOIMPER SURFAÇAGE

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 LANKOSTRUCTURE CARBOGRID.

737 LANKOREP FISSURES

Coulis formulé spécialement à base de liants hydrauliques et d'adjuvants spéciaux. Ce coulis permet l'injection de fissures fines à partir de 0,3 mm.

740 LANKOSCELFIX

Résine de scellement époxy destinée au scellement de tiges ou d'armatures dans le béton, bénéficiant de deux ETE.

4. 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 2 et 3 du DTED).

4.1 Notations

Générales :

A_s : section des armatures en zone tendue ;

A'_s : section des armatures en zone comprimée ;

A_f : section du LANKOSTRUCTURE CARBOGRID ;

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

b_f : largeur de la bande de LANKOSTRUCTURE CARBOGRID ;

n : coefficient d'équivalence entre l'acier et le béton (rapport des modules). n=15 usuellement ;

n_f : coefficient d'équivalence entre le LANKOSTRUCTURE CARBOGRID et le béton (rapport des modules) ;

I : inertie équivalente de la section : contribution du béton, des armatures et du LANKOSTRUCTURE CARBOGRID tendu.

τ_i : contrainte d'interface ou de délaminage du composite LANKOSTRUCTURE CARBOGRID

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 LANKOSTRUCTURE CARBOGRID 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 LANKOSTRUCTURE CARBOGRID à la limite de l'élasticité linéaire

$f_{f,d}$: contrainte admissible dans LANKOSTRUCTURE CARBOGRID 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 LANKOSTRUCTURE CARBOGRID 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 LANKOSTRUCTURE CARBOGRID 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 LANKOSTRUCTURE CARBOGRID (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

4.2 Synthèse des caractéristiques des composants du système LANKOSTRUCTURE CARBOGRID à considérer pour le dimensionnement

LANKOSTRUCTURE CARBOGRID est un composite constitué de « l'assemblage » de 32 CARBOGRID TRM noyé dans la mortier colle 52 CARBOGRID Mortier colle.

4.21 Epaisseur

L'épaisseur d'une couche de composite LANKOSTRUCTURE CARBOGRID est présentée dans le Tableau 1 de l'Annexe 1.

Le nombre de couches du système LANKOSTRUCTURE CARBOGRID est limité à 1 couche.

4.22 Caractéristiques mécaniques du système composite LANKOSTRUCTURE CARBOGRID

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.

4.23 Interface composite-béton

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

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

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

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

γ_{td}	ELS	ELU
LANKOSTRUCTURE CARBOGRID	2	1,5

Les contraintes d'entrainement sont calculées conformément au §4.461 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 LANKOSTRUCTURE CARBOGRID égale à 0,5 MPa ;
- τ_u (ELU) et τ_e (ELS) les contraintes d'entraînement à l'interface LANKOSRUCTURE CARBOGRID - béton;
- $\bar{\tau}_u$ (ELU) et $\bar{\tau}_e$ (ELS) les contraintes admissibles dans le béton.

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

4.3 Expertise préalable de la structure

Tout chantier de réparation fera l'objet d'une expertise préalable exécutée par une société de contrôle agrée 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 armatures passives (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.

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

4.41 Préambule

Le calcul des structures en béton armé renforcées par du LANKOSTRUCTURE CARBOGRID 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 LANKOSTRUCTURE CARBOGRID au béton.
- Pour le dimensionnement du renfort à l'ELU et l'ELS, des logigrammes de calcul sont présentés en Annexe 2 du DTED (Figure 4 et Figure 5 respectivement).

4.42 Caractéristiques des matériaux

4.421 Béton

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

4.422 Acier

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

4.423 Composite

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

4.43 Actions et sollicitations

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

4.44 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 LANKOSTRUCTURE CARBOGRID (allongement)

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

Les performances mécaniques du LANKOSTRUCTURE CARBOGRID (déformation et résistance admissibles) sont présentées dans l'Annexe 1 du DTED.

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.

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

<u>1er cas :</u> 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 passifs

$\varepsilon_{f_{u,d}}$: déformation limite en traction du LANKOSTRUCTURE CARBOGRID

Moment repris par les aciers tendus (supposés plastifiés) :

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

Moment repris par le composite :

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

f_f est obtenue pour ε_{fd} à partir de la loi de comportement du LANKOSTRUCTURE CARBOGRID

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

$$\varepsilon_{f,d} < 1{,}1\left(\varepsilon_{s_{y,d}} - \varepsilon_{s1}\right)$$

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

Moment repris par les aciers tendus :

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

Moment repris par le composite :

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

<u>3er cas :</u> Pivots B ou D, aciers passifs non plastifiés

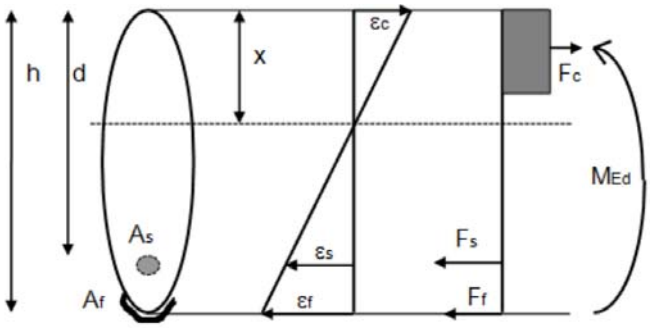
Alors $\varepsilon_s = min\,\{\,\varepsilon_{s0} + 0{,}91\,\varepsilon_{fu,d}\,;\,f_{yd}/E_s\,\}$

Moment repris par les aciers tendus :

$$M_{Rds} = A_s.E_s\,.\,\varepsilon_s\,.z_s \text{ et } z_s \approx 0{,}9d$$

Moment repris par le composite :

$$M_{Rdf} = Af\,.f_{f,d}\,.z_f \text{ et } z_f \approx d$$



F_f, force à reprendre par le composite LANKOSTRUCTURE CARBOGRID, se déduit de l'équilibre de la section :

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

$$F_c = F_s + F_f$$

4.45 Flexion à l'état limite de service (ELS)

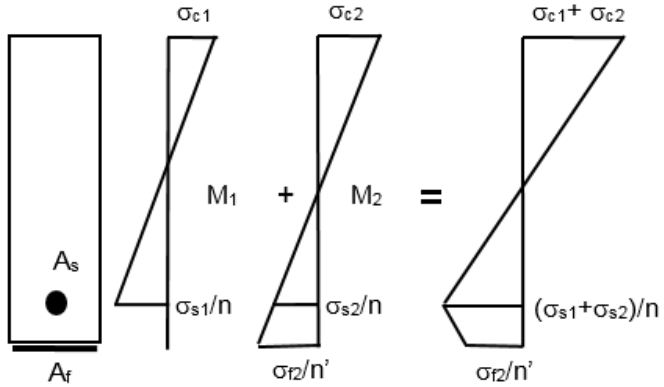
4.451 Principe

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

- un moment M_1 appliqué avant renforcement par LANKOSTRUCTURE CARBOGRID,
- 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 LANKOSTRUCTURE CARBOGRID et des contraintes sous la sollicitation M_2 avec le renfort LANKOSTRUCTURE CARBOGRID.



Il faut vérifier que :

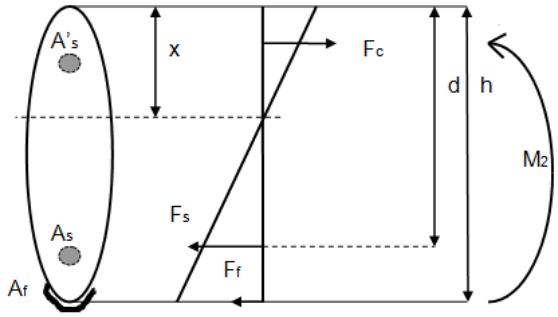
$$\sigma_{s1} + \sigma_{s2} \leq \overline{\sigma_s}$$
$$\sigma_{c1} + \sigma_{c2} \leq \overline{\sigma_c}$$
$$\sigma_{f2} \leq \sigma_{fs}$$

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 LANKOSTRUCTURE CARBOGRID (notamment la contrainte admissible σ_{fs}) à l'ELS est donnée dans l'Annexe 1 du DTED : $\sigma_{fs} = f_{f,d}$

4.452 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:

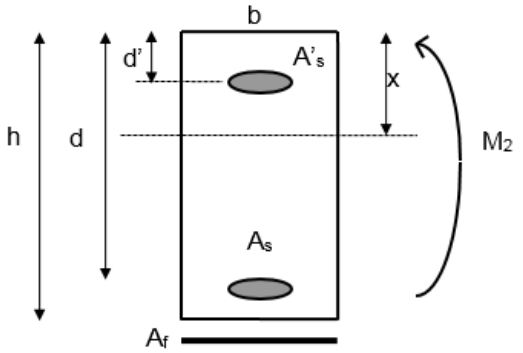
$$F_c = \int_0^x \frac{\sigma_{c2}}{x} \cdot b(y) \cdot y \cdot dy$$
$$F_s = A_s \sigma_{s2}$$
$$F'_s = A'_s \sigma'_{s2}$$
$$F_f = A_f \sigma_{f2}$$

Avec :

$$\sigma_{c2} = \frac{M_2 \cdot x}{I}$$
$$\sigma_{s2} = n \frac{M_2 \cdot (x - d)}{I}$$
$$\sigma_{f2} = n' \frac{M_2 \cdot (x - h)}{I}$$

4.453 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 :

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

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 :

$$\sigma_{c2} = \frac{M_2 \cdot x}{I}$$
$$\sigma_{s2} = -n \frac{M_2 \cdot (d - x)}{I}$$
$$\sigma_{f2} = -n_f \frac{M_2 \cdot (h - x)}{I}$$

4.454 Compléments sur la maitrise de la fissuration suivant les méthodes forfaitaires de l'Eurocode 2

Dans la mesure où l'élément à renforcer a été dimensionné à l'EC 2, la méthode de dimensionnement à l'ELS proposée est la suivante :

La condition de résistance est vérifiée suivant la procédure de dimensionnement à l'ELS (§4.452 et §4.453). Il s'agit d'une méthode traditionnelle au sens où le matériau composite LANKOSTRUCTURE CARBOGRID est mobilisé dans son domaine élastique linéaire et la déformation de l'acier demeure élastique.

Le moment de service sera calculé en considérant le coefficient d'équivalence n_f à partir de la condition suivante :

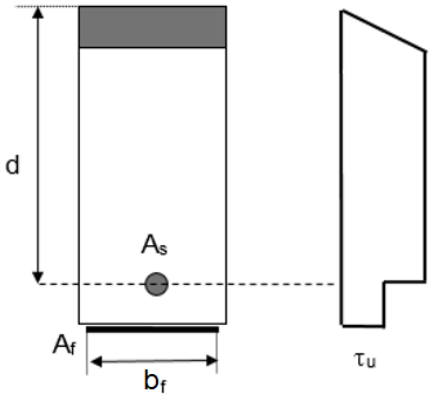
$$0 \leq \varepsilon_f < 0{,}01\% \qquad E_f = 52\,000\ MPa$$
$$0{,}01\% \leq \varepsilon_f \leq 0{,}19\% \qquad E_f = 2\,200\ MPa$$

La maitrise de la fissuration est assurée par les aciers passifs de l'élément à renforcer.

4.46 Vérifications complémentaires (ELU/ELS)

4.461 Vérification de la contrainte d'entraînement

Les contraintes d'entraînement τ_u (ELU) et τ_e (ELS) à l'interface LANKOSTRUCTURE CARBOGRID - béton doivent être inférieures aux contraintes admissibles dans le béton $\overline{\tau_u}$ (ELU) et $\overline{\tau_e}$ (ELS) respectivement.



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

Où

b_f : largeur de composite LANKOSTRUCTURE CARBOGRID

V_{Ed} : valeur maximale de l'effort tranchant à l'ELU ou à l'ELS sur la longueur où est appliqué le LANKOSTRUCTURE CARBOGRID

F_f et F_s : forces respectives dans le LANKOSTRUCTURE CARBOGRID et dans les armatures longitudinales existantes (voir §4.44 pour l'ELU et §4.45 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 LANKOSTRUCTURE CARBOGRID égale à 0,5 MPa. Les valeurs de $v_{ad,d}$ et v_{ad} sont données au paragraphe 4.23.

4.462 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 vérifie au paragraphe 4.462, 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.

4.463 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.

$$\frac{F_{f,ELU}}{b_f . l_{anc}} \leq \bar{\tau}_u$$

$$\frac{F_{f,ELS}}{b_f . l_{anc}} \leq \bar{\tau}_e$$

b_f : largeur du composite LANKOSTRUCTURE CARBOGRID

F_f : forces respectives dans le LANKOSTRUCTURE CARBOGRID (voir §4.44 pour l'ELU et §4.45 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 §4.462.

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 LANKOSTRUCTURE CARBOGRID égale à 0,5 MPa. Les valeurs de $v_{ad,d}$ et v_{ad} sont données au paragraphe 4.23.

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

4.51 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 LANKOSTRUCTURE CARBOGRID 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.

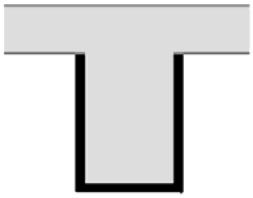
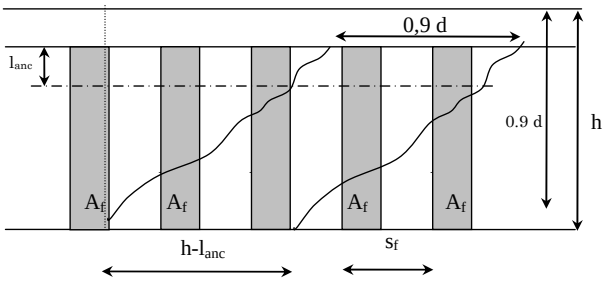


Figure 1 : Possibilité d'entourer partiellement la section d'une poutre avec une armature complémentaire en composite vis-à-vis de l'effort tranchant

Les poutres soumises à des efforts tranchants sont justifiées vis-à-vis de l'état limite ultime (ELU) pour une fissure d'effort tranchant inclinée à 45°, qui est le cas le plus défavorable. Il s'agit de déterminer la répartition des bandes de composite sur les faces latérales : leur largeur b_f et leur espacement s_f.



$h_f = h - epaisseur\ table$

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

4.52 Caractéristiques des matériaux

4.521 Béton

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

4.522 Acier

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

4.523 Composite

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

4.53 Actions et sollicitations

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

4.54 Dimensionnement à l'ELU

Le renforcement par du LANKOSTRUCTURE CARBOGRID 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 LANKOSTRUCTURE CARBOGRID et de vérifier que contrainte de cisaillement ultime à l'interface béton reste inférieure à la contrainte $\overline{\tau_u}$.

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 LANKOSTRUCTURE CARBOGRID :

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

  - α_V : coefficient minorant la contrainte de traction. S'il n'est pas possible d'ancrer le composite sur 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°).

4.541 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))

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

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.

4.542 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

4.55 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 tangentes 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.

4.56 Dispositions constructives

La position des fissures n'est pas connue à 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 LANKOSTRUCTURE CARBOGRID est :

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

5. Fabrication – Contrôles

5.1 32 CARBOGRID TRM

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

Nom de la grille	32 LANKOSTRUCTURE CARBOGRID TRM		Tolérance	Norme
Masse surfacique (g/m²)		340	5%	EN 12127:1997
Poids écru (g/m²)		227	5%	EN 12127:1997
	Chaine	Trame		
Fils	12 K TORAY	12 K TORAY		
	T 700 SC	T 700 SC	0,50%	EN 1049-2:1999
Nbre de fils (/10 cm)	13	13		
Fils	EC9-34 tex Z 28			
Nbre de fils (/10 cm)	26			
Fils		EC9-68 tex Z 28		
Nbre de fils (/10 cm)		13		
Résistance à la traction (N/5 cm)				
Etat initial	> 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		DIN 61101-1 + DIN ISO 9354
Dimensions standard (m x cm)	50	100		

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

PAREXGROUP s'engage à fournir les résultats des contrôles effectués à l'issu 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, PAREXGROUP SA 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.

5.2 52 CARBOGRID Colle

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

PAREXGROUP 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 52 CARBOGRID Mortier colle, le temps de prise et la valeur des résistances mécaniques à différentes échéances sont contrôlés.

PAREXGROUP 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).

6. Travaux préparatoires

6.1 Généralités

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

- Cohésion superficielle après préparation du support : ≥ 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 LANKOSTRUCTURE CARBOGRID.

Les supports seront âgés de 28 jours au minimum au moment de l'application du système LANKOSTRUCTURE CARBOGRID.

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

6.2 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, grenaillage, 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 ≥ 1,5 MPa).

Pour le procédé LANKOSTRUCTURE CARBOGRID, 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).

6.3 Planéité du support

- Après préparation, la tolérance de planéité du support sera de 10 mm sous la règle de 2 m.
- Les balèvres 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 777 LANKOIMPER SURFAÇAGE ou 731 LANKOREP STRUCTURE (cas de fortes épaisseurs).

6.4 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.

6.5 Dispositions correctives

Elles comprennent notamment :

- Les reprises de la planéité par ragréage avec 777 LANKOIMPER SURFAÇAGE pour rentrer dans les tolérances définies au paragraphe 6.3
- L'injection des fissures d'ouverture supérieure à 0,3 mm avec 737 LANKOREP FISSURE afin de recréer le monolithisme des éléments de structure et d'éviter toute discontinuité de la surface de collage.

7. Mise en œuvre

7.1 Préparation des armatures 32 CARBOGRID TRM

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.

7.2 Préparation 52 CARBOGRID Colle

Le gâchage de chaque sac de mortier 52 CARBOGRID Colle sera effectué à l'eau propre.

La quantité d'eau par sac de 25 kg de mortier 52 CARBOGRID Colle 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.

7.3 Pose du système LANKOSTRUCTURE CARBOGRID

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

Les défauts de planimétrie et éventuels bullages auront été « rattrapés » à l'aide de 777 LANKOIMPER SURFAÇAGE ou selon les cas de 731 LANKOREP STRUCTURE.

Le support aura été au préalable humidifié à refus la veille du jour où la mise en œuvre du procédé de renforcement LANKOSTRUCTURE CARBOGRID 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).

8. Finition – Protection,

8.1 Finition revêtement associés

Les revêtements associés au système LANKOSTRUCTURE CARBOGRID 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.

8.2 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.

9. Contrôle à la mise en œuvre

9.1 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.

9.2 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 6.2.)

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.

9.3 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 6.3)

9.4 Relevé des fissures

Voir paragraphe 6.5

9.5 Contrôle des produits

Relever les numéros de lots des produits utilisés dans les systèmes LANKOSTRUCTURE CARBOGRID (imprimé sur les sacs de mortiers 52 CARBOGRID Colle et sur l'étiquette apposée sur le rouleau de 32 CARBOGRID TRM).

9.6 Contrôles lors des travaux

Noter les dates et heures de la mise en place des 32 CARBOGRID TRM et 52 CARBOGRID Colle.

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

9.7 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.

10. Assistance technique

La Société PAREXGROUP S.A. 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.

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

B. Résultats expérimentaux

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

C. Références

C.1 Données environnementales

Le procédé « LANKOSTRUCTURE CARBOGRID » 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.

C.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 Porhöet, 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 maitrise d'œuvre a été réalisée par E.AMANTEA ARCHITECTES 61-63 Rue Réaumur 75002 PARIS.

Annexe 1 : Caractéristiques des composites LANKOSTRUCTURE CARBOGRID

Caractéristiques géométriques du composite LANKOSTRUCTURE CARBOGRID

Tableau A1-1 : Epaisseur du composite LANKOSTRUCTURE CARBOGRID

Référence du renfort	Nombre de couche (grille)	Epaisseur du composite	Epaisseur de calcul du composite
LANKOSTRUCTURE CARBOGRID	1	3 mm +/- 0,3 mm	3 mm

Caractéristiques mécaniques du composite LANKOSTRUCTURE CARBOGRID 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 $\sigma_{f_f,u,d}$	595 MPa

Caractéristiques mécaniques du composite LANKOSTRUCTURE CARBOGRID 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 $0 < \varepsilon_f < 0{,}01\%$	52 000 MPa
Module Elastique E_f pour $0{,}01\ \% < \varepsilon_f < 0{,}19\ \%$	2 200 MPa

Annexe 2 : LOGIGRAMME DE DIMENSIONNEMENT DU LANKOSTRUCTURE CARBOGRID

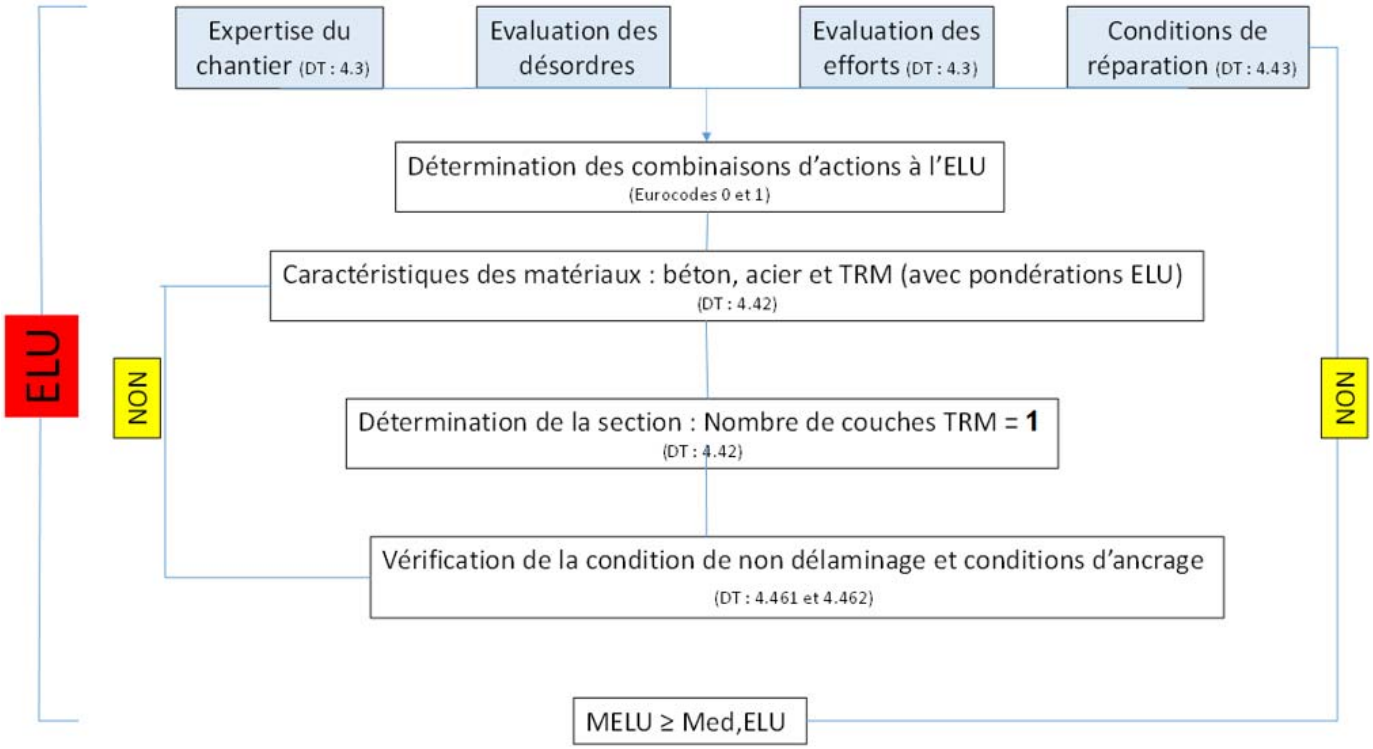


Figure 5 : Logigramme de dimensionnement à l'ELU

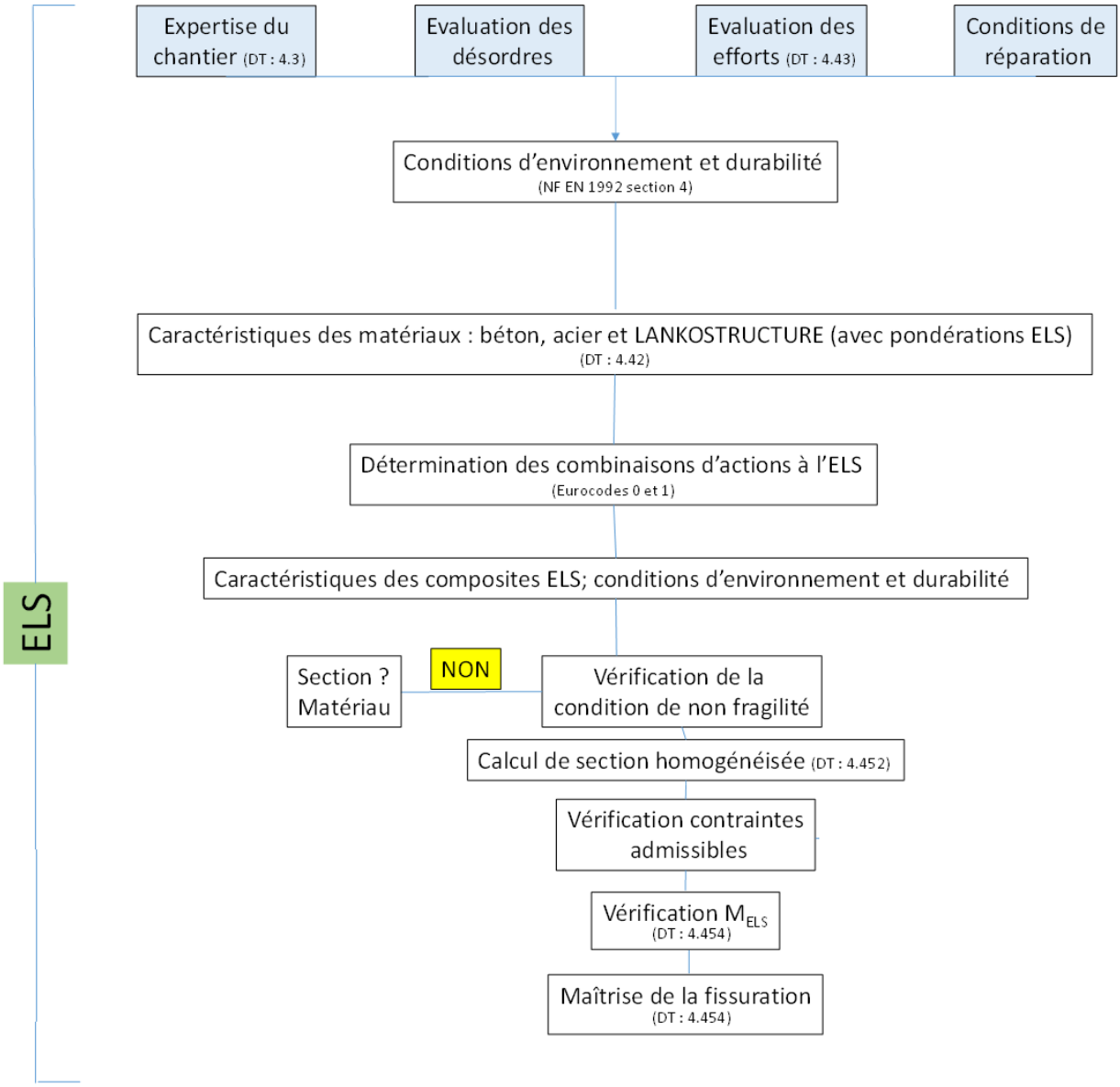


Figure 6 : Logigramme de dimensionnement à l'ELS

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

- **737 LANKOREP FISSURES** N° de lot : .....

- **720 LANKOREP EPOXY** N° de lot : .....

- 52 CARBOGRID Mortier colle N° de lot .....

- **32 CARBOGRID TRM** 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

.....

.....

.....