

Avis Technique 3/14-773

*Eléments de structure en
béton, renforcés par un
procédé de collage de fibres
de carbone*

SYSTEME FRP S&P

Titulaire : S&P Reinforcement France
Z.A.C. des Quatre Chemins
85400 Sainte Gemme La Plaine

Commission chargée de formuler des Avis Techniques
(arrêté du 21 mars 2012)

Groupe Spécialisé n° 3

Structures, ossatures, planchers et autres composants structuraux

Vu pour enregistrement le 4 novembre 2014

Le Groupe Spécialisé n° 3 "Structures, Planchers et autres composants structuraux" de la Commission chargée de formuler les Avis Techniques, a examiné, le 17 juin 2014, le procédé de renfort à base de fibres de carbone, sous forme de collage de lamelles et de tissus, procédé dénommé SYSTEME FRP S&P, exploité par la société S&P Reinforcement France. Il a formulé sur ce procédé l'Avis Technique. Cet Avis est formulé pour les utilisations en France Européenne.

1. Définition succincte

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

Les lamelles engravées sont utilisées uniquement pour le renfort en flexion en partie supérieure de dalle ou de poutre.

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

1.1 Identification des composants

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

- Lamelles S&P CFK150/2000 et S&P CFK 200/2000 : présentation en couronnes. Les lamelles sont identifiées par leur dénomination et un numéro de lot, imprimés à intervalles réguliers sur la lamelle. Ces lamelles sont livrées prédécoupées en usine sur mesure ou en couronnes de 100 et 150 mètres en fonction de la largeur.
- Tissus S&P C-SHEET 240 et S&P C-SHEET 640 : présentation en rouleaux. La dénomination et le numéro de lot sont indiqués sur tous les rouleaux. Les tissus sont livrés prédécoupés en usine sur mesure ou en rouleaux de 100 mètres (S&P C-SHEET 240) et 50 mètres (S&P C-SHEET 640).
- S&P RESIN 220 Colle pour lamelles S&P CFK : Colle époxydique bi-composants livrés en kits. La dénomination de la colle est indiquée sur l'emballage du kit. La livraison se fait en kits de 5kg ou 15kg, devant être stockés au sec entre 5 et 25°C avant utilisation.
- S&P RESIN 230 : Mortier époxy tri-composants utilisé pour reprofiler le support avant application des lamelles S&P CFK et tissus S&P C-SHEET.
- S&P RESIN 55 Colle pour tissus S&P C-SHEET : Colle époxydique bi-composants livrés en kits. La dénomination de la colle est indiquée sur l'emballage du kit. La livraison se fait en pots métalliques de 6 kg, devant être stockés au sec entre 5 et 25°C avant utilisation.
- S&P RESICEM Colle pour tissus S&P C-SHEET 240 : Colle époxy/ciment perméable à la vapeur d'eau pour le collage des tissus en cas d'emballage complet d'un poteau. Ce système permet les échanges gazeux entre l'élément enrobé et l'extérieur.

2. AVIS

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

2.1 Domaine d'emploi accepté

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

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

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

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

L'utilisation de ce procédé est limitée au renforcement des structures vis-à-vis d'actions rapidement variables. L'utilisation en bâtiments industriels est admise tant que l'agressivité chimique ambiante peut être considérée comme normale et que les charges non statiques ne sont pas de nature répétitive entretenue pouvant donner lieu à fatigue. On peut citer, à titre d'exemple de charges exclues, les machines tournantes et les passages intensifs et répétés de camions. Le renforcement des dallages n'est pas visé.

Le renforcement structurel de radiers est visé.

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

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

- 47°C en pointe et 37°C en continu pour les lamelles S&P CFK (S&P RESIN 220 et S&P RESIN 230)
- 44 °C en pointe et 34°C en continu pour les tissus S&P C-SHEET (S&P RESIN 55 et S&P RESICEM)

Le CPTP (paragraphe 2.3 du présent Avis) précise les conditions dans lesquels le renforcement par le procédé FRP S&P peut être envisagé.

2.2 Appréciation sur le procédé

2.2.1 Aptitude à l'emploi

Stabilité

L'utilisation du système FRP S&P 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 CPTP du présent Avis.

Sécurité au feu

- Réaction au feu

En l'absence de Procès-Verbal de réaction au feu, les éléments entrant dans la constitution du système FRP S&P sont non-classés ou classés F au sens des Euroclasses.

- Résistance au feu

En ce qui concerne la résistance au feu, le système de renforcement FRP S&P non protégé ne participe pas à la tenue des éléments renforcés. Lorsqu'une protection au feu est prévue par-dessus le composite, elle devra justifier d'un essai de résistance au feu, effectué sur un support identique, par un Laboratoire agréé par le Ministère de l'Intérieur. L'attention est attirée sur le fait que les caractéristiques mécaniques de la colle diminuent rapidement lorsque la température augmente.

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

Il y a lieu de respecter les prescriptions du Code du travail concernant les mesures de protection relatives à l'utilisation des produits contenant des solvants utilisés pour le nettoyage des outils, l'utilisation de colles époxy et la manipulation de lamelles. En dehors de ce point, les conditions de mise en œuvre ne sont pas de nature à créer d'autre risque spécifique. Il faut consulter les fiches de sécurité des produits avant manipulation.

2.2.2 Durabilité – entretien

La durabilité des éléments renforcés est normalement assurée, exception faite pour les utilisations en locaux (ou ambiances) suivants :

1. atmosphère agressive (type solvant). En effet, la stabilité des caractéristiques mécaniques de la colle n'est pas démontrée.
2. lorsque la température est susceptible de dépasser la valeur en pointe indiquée dans le dossier technique établi par le demandeur (valeur de pointe : valeur dont la durée de maintien est inférieure à 24 heures) de la résine utilisée.

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

2.23 Fabrication et contrôles

Les éléments entrant dans la constitution du procédé sont fabriqués dans des usines spécialisées.

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

2.24 Finitions

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

2.3 Cahier des prescriptions techniques particulières

2.31 Conditions de conception et de calcul

Le dimensionnement du renforcement doit être réalisé par un bureau d'études de structure. S&P met à la disposition des calculateurs des logiciels de dimensionnement développés en interne et utilisés en Europe depuis 2000. La responsabilité des résultats et donc de la structure du logiciel revient au Titulaire. Toutefois, le bureau d'étude structure utilisateur du logiciel reste responsable de la bonne utilisation du logiciel suivant le cahier des charges fourni et de la définition des hypothèses et des données d'entrée.

2.311 Justification à la rupture

Cette justification est à effectuer dans tous les cas hors situation d'incendie. Elle 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) $G+Q_1+\sum \psi_{0i}Q_i$, où G représente la sollicitation due à la charge permanente et $\sum \psi_{0i}Q_i$ celle due aux charges de courte durée d'application dites d'accompagnement de l'action de base Q_1 , y compris s'il y a lieu les charges climatiques et celles dues aux instabilités.

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

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

Avec, dans ces expressions :

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

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

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

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. Les justifications à effectuer, vis-à-vis du moment de flexion, pour les éléments en béton renforcés par le système FRP S&P, 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 véringage provisoire en cours de travaux). Ceci conduit à superposer les états de contraintes relatifs aux deux situations suivantes :

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

Cette justification est menée en prenant en compte, sur les contraintes à rupture, les coefficients de sécurité donnés dans le dossier technique établi par le demandeur, à la partie « Dimensionnement ». Pour cette justification, il y a lieu de limiter la contrainte finale dans les armatures tendues existantes à la valeur $f_{s\lim}=0,80 f_{yk}$ sous combinaison caractéristique.

La contrainte de compression dans le béton est limitée à $0,6 f_{ck}$ sous combinaison caractéristique et à $0,45 f_{ck}$ sous combinaison quasi-permanente (AFGC Février 2011 §2.4.3).

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.

Calcul à l'ELU : ce calcul est mené conformément aux détails donnés dans le dossier technique établi par le demandeur. En plus des hypothèses classiques sur le béton et l'acier, les déformations des renforts FRP S&P est limitée conformément aux indications données au paragraphe « Dimensionnement » du 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, ragréage le cas échéant, 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 f_{tk} obtenue par les essais de pastillage (Dans tous les cas, le procédé n'est pas applicable si les essais de pastillage donnent une valeur de f_{tk} inférieure à 1,5 MPa.) :

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

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

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

Les poutres soumises à un effort tranchant sont justifiées vis-à-vis de l'état limite ultime et de l'état limite de service, suivant le chapitre 2.6 des règles AFGC (février 2011). Le renforcement n'est pas admis dans le cas d'un moment négatif sur l'appui considéré sauf si la poutre est complètement ceinturée (voir point 4.93 du DT).

Dans le cas des poutres sans table de compression les bandes de composite entourent la poutre.

Pour le cas des poutres sous une dalle, l'ancrage total de l'effort tranchant dans la dalle est systématiquement réalisé par des dispositions d'ancrage spécifiques. Dans ce cas, il y a lieu de tenir compte des capacités résistantes du système d'ancrage, la poutre ainsi renforcée pouvant être justifiée sur la totalité de sa section (hauteur de table comprise).

2.314 Renforcement des éléments en béton précontraint.

Le dimensionnement du renforcement des éléments en béton précontraint doit être effectué conformément aux prescriptions du dossier technique établi par le demandeur. Les principes de justifications sont identiques à ceux développés dans le cas du béton armé sauf en ce qui concerne les états limite de service en flexion :

Pour la justification à l'état limite de service, il y a lieu de limiter la contrainte de traction à $0,9 f_{pk}$ dans les armatures de précontrainte (cas de la précontrainte adhérente) sous combinaison caractéristique.

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

2.32 Conditions de mise en œuvre

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

L'entreprise mettant en œuvre le procédé doit justifier d'une formation spécifique à ce type de renforcement. Le cahier de charges fourni par le Titulaire lors de la formation des entreprises applicatrices doit

intégrer l'ensemble des essais et contrôles prescrits dans le présent document.

Conclusions

Appréciation globale

L'utilisation du procédé de renforcement FRP S&P dans le domaine d'emploi accepté, et moyennant le respect du Cahier des Prescriptions Techniques Particulières (Paragraphe 2.3 du présent Avis), est appréciée favorablement.

Validité

4 ans, jusqu'au 30 juin 2018

Pour le Groupe Spécialisé n°3
La Présidente
Roseline LARQUETOUX

3. Remarques complémentaires du Groupe Spécialisé

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

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

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

Le Rapporteur du Groupe Spécialisé n° 3
Anca CRONOPOL

Dossier Technique

établi par le demandeur

A. Description

1. Définition

Le procédé FRP S&P est un système de renfort structural d'éléments en béton armé et béton précontraint.

Tous les éléments sont fabriqués en usine à l'aide de fibres de carbone de qualité aéronautique.

- Les lamelles S&P CFK sont des lames de différentes sections ; composées de fibres de carbone pultrudées dans une résine époxy, surtout utilisées pour les renforts à la flexion.
- Les tissus S&P C-SHEET sont composés de fibres de carbone unidirectionnelles fixées sur une trame en polyester ; et permettent, un renfort à la flexion, à la compression et au cisaillement.

Les deux logiciels d'aide au calcul FRP lamella et FRP Colona font partie intégrante du système FRP S&P, et sont des outils performants pour les bureaux d'études chargés du dimensionnement.

2. Domaines d'emploi

2.1 Domaines d'emploi acceptés

Le procédé FRP S&P permet le renforcement structural d'éléments en béton armé et béton précontraint par collage de pièces en carbone dans ou sur la structure en cas d'augmentation des charges d'exploitation de l'ouvrage ou de malfaçon (ferraillage insuffisant, mal positionné,...).

- Les lamelles S&P CFK collées en surface ou engravées dans des fentes de la fibre tendue permettent un renfort à la flexion.
- Les tissus S&P C-SHEET 640, de par leur module d'élasticité élevé, sont utilisés pour l'augmentation de résistance à l'effort de cisaillement des poutres.
- Les tissus S&P C-SHEET 240, collés sur la partie tendue, sont utilisés pour le renfort de poutres ou planchers à la flexion. Ils permettent également, par confinement de renforcer des éléments comprimés tels que les poteaux vis-à-vis des efforts de compression. Ils sont également utilisés pour le renfort au cisaillement des poutres.

Exemples d'application :

- Renforcement de poutres et planchers de bâtiments d'habitations
- Renforcement de poteaux
- Renfort de trémies dans une dalle

Les domaines d'emplois principaux sont :

- La réparation de structures dégradées, pour la restitution de la résistance initiale.
- Le renforcement de structures, pour l'obtention d'une résistance supérieure à la résistance initiale.
- Une mise en conformité des ouvrages de bâtiment, génie civil, industriels ... en cas de changement de destination.

2.2 Types de charges

L'utilisation du système est autorisée pour les charges statiques.

2.3 Zones géographiques d'utilisation

L'utilisation du système est autorisée en France européenne (métropole et Corse).

2.4 Durabilité

La durabilité des éléments renforcés est normalement assurée, exception faite pour les utilisations en locaux (ou ambiances) suivantes :

- Atmosphère chimiquement agressive. Les conditions en bord de mer (sel, humidité,...) ne sont pas considérées comme agressives.
- Lorsque la température est susceptible de dépasser les valeurs suivantes :
 - S&P RESIN 220: 47°C en pointe et 37°C en continu.
 - S&P RESIN 50/55 et S&P RESICEM : 44 °C en pointe et 34°C en continu.

La température en pointe correspond à la température dont l'application est inférieure à 24h.

3. Description des matériaux

3.1 Lamelles S&P CFK

Les lamelles S&P CFK sont disponibles en deux modules d'élasticité type 150/2000 et type 200/2000. Le choix sera défini en fonction des résultats des calculs. La qualité 150/2000 est la plus couramment utilisée.

Identification et marquage

Exemple de désignation : S&P CFK 150/2000 1,4 80
CFK 150/2000 Référence du type de la lamelle
1,4 Épaisseur en millimètre de la lamelle
80 Largeur en millimètre de la lamelle

Un marquage est imprimé le long de la lamelle.

Le numéro de lot et la désignation sont apposés régulièrement sur chaque couronne.

Contrôle : Chaque lot (bobines d'environ 3km) fait l'objet de plusieurs contrôles (un contrôle environ tous les 600m) du module d'élasticité. Un échantillonnage est testé à la rupture en traction.

Lamelles collées :

Type de lamelles	Largeur	Épaisseur	Section
S&P CFK 150/2000	[mm]	[mm]	[mm ²]
50 / 1.2	50	1,2	60
50 / 1.4	50	1,4	70
60 / 1.4	60	1,4	84
80 / 1.2	80	1,2	96
80 / 1.4	80	1,4	112
90 / 1.4	90	1,4	126
100 / 1.2	100	1,2	120
100 / 1.4	100	1,4	140
120 / 1.2	120	1,2	144
120 / 1.4	120	1,4	168
150 / 1.2	150	1,2	180
150 / 1.4	150	1,4	210
S&P CFK 200/2000			[mm ²]
50 / 1.4	50	1,4	70
60 / 1.4	60	1,4	84
80 / 1.4	80	1,4	112
90 / 1.4	90	1,4	126
100 / 1.4	100	1,4	140
120 / 1.4	120	1,4	168

Lamelles engravées :

Types de lamelles	Largeur	Epaisseur	Section
S&P CFK 150/2000	[mm]	[mm]	[mm ²]
10 / 1.4	10	1,4	14
20 / 1.4	20	1,4	28
10 / 2.8	10	2,8	28
S&P CFK 200/2000	[mm]	[mm]	[mm ²]
10 / 1.4 *	10	1,4	14
20 / 1.4 *	20	1,4	28

* Uniquement sur commande spéciale.

Les lamelles peuvent être obtenues, sur commande, dans d'autres sections avec les mêmes caractéristiques

• Coefficient de dilatation thermique :

Longitudinal +/- 10-6 K-1 S&P CFK 200/2000

+/- 10-6 K-1 S&P CFK 150/2000

Transversal +/- 20 10-6 K-1 S&P CFK 200/2000

+/- 30 10⁻⁶ K⁻¹ S&P CFK 150/2000

- Résistance à la traction transversale des lamelles : 25 MPa
- Reprise en eau : 0,5% à 28 jours
- Pouvoir calorifique des lamelles : 6100 Kcal / kg
- Transition vitreuse de la matrice époxy >100°C

3.2 Tissus S&P C-SHEET

Les tissus S&P C-SHEET 240 et 640 ont des modules d'élasticité différents pour répondre au mieux aux différents domaines d'emploi.

Identification et marquage

Exemple de désignation : S&P C-SHEET 240 200g

C-SHEET 240 Référence du type de tissu
200g Grammage [g/m²]

Un numéro de lot et la désignation sont apposés sur chaque rouleau.

Contrôles :

Chaque lot de fibre livré au titulaire fait l'objet d'essais de contrôle interne, portant sur : le module d'élasticité, l'allongement à rupture, la densité et le diamètre du fil de carbone.

Caractéristiques techniques des tissus S&P C-SHEET 240 (unidirectionnel)	200 g/m ²	300 g/m ²	400 g/m ²	600 g/m ² (fabrication spéciale)
Poids des fibres [g/m ²] (sens principal)	200	300	400	600
Poids au m ² SHEET [g/m ²]	230	330	430	630
Densité [g/cm ³]	1.7	1.7	1.7	1.7
Allongement à la rupture [%]	1.55	1.55	1.55	1.55
Épaisseur de dimensionnement (poids des fibres/densité) [mm]	0.117	0.176	0.234	0.353
Section théorique de dimensionnement, largeur de 1000 mm [mm ²]	117	176	234	353
Livraison en rouleaux:	Largeur: 300 ou 600 mm Fabrication spéciale largeur 200mm			

Caractéristiques techniques des tissus S&P C-SHEET 640 (unidirectionnel)	400 g/m ²
Poids des fibres [g/m ²] (sens principal)	400
Poids au m ² du S&P C-SHEET [g/m ²]	430
Densité [g/cm ³]	2.1
Allongement à la rupture [%]	0.4
Épaisseur de dimensionnement (poids des fibres/densité) [mm]	0.190
Section théorique de dimensionnement, largeur de 1000 mm [mm ²]	190
Livraison en rouleaux: (Rouleaux spéciaux sur demande)	Largeur: 300 mm

Les tissus peuvent être superposés jusqu'à 5 couches. De même, les tissus peuvent être pliés dans le sens longitudinal jusqu'à obtenir 5 couches. Ceci est possible car les tissus sont unidirectionnels. Dans ce cas l'application doit être réalisée en voie humide (voir chapitre 6).

Exemple : Un tissu de 300mm de large peut être plié en 2 dans le sens de la longueur, cela donne 2 couches de 150mm de large. Si on plie ce même tissu encore en 2 on obtient 4 couches de 75mm de large.

Les tissus peuvent être obtenus, sur demande, dans des grammages différents de ceux donnés dans les tableaux ci-dessus jusqu'à une limite de 600g/m². Exemples : 550g/m² ou 475g/m²,...

3.3 S&P Resin 220 Colle pour lamelles S&P CFK

Colle époxy bi-composant pour le collage des lamelles CFK sur le support ou engravées sur support non-horizontale (EN 1504-4).

Identification

- Densité : env. 1,75 g/cm³
- Epaisseur d'application : de 1 à 3 mm
-
- Délai de durcissement total : env. 3 jours *
- Température d'application : de +10° C à 30° C
- Résistance à la traction sur béton : > 3,0 N/mm² (rupture dans le béton)
- Résistance au cisaillement sur béton : > 1,8 N/mm² (rupture dans le béton)

* à 20° C et 65 % d'humidité relative

Produit	Vie en pot			Humidité du support
	10° C	20° C	30° C	
DPU	~ 100 min.	~ 60 min.	~ 45 min.	< 4 %
S&P RESIN 220				

Consommation avec lamelles collées, selon la rugosité du support de béton (valeurs minimales).

Lamelles S&P CFK collées

Largeur de lamelle	Consommation de S&P RESIN 220
50 mm	~ 265 g/ml
60 mm	~ 315 g/ml
80 mm	~ 420 g/ml
90 mm	~ 475 g/ml
100 mm	~ 530 g/ml
120 mm	~ 630 g/ml
150 mm	~ 800 g/ml

(rupture dans le béton)

Lamelles S&P CFK engravées

Largeur de lamelle	Consommation de S&P RESIN 220	Consommation de S&P RESIN 55
10/1.4 mm	~ 120 g/ml	~ 80 g/ml
10/2.8 mm		
20/1.4 mm	~200 g/ml	~ 130 g/ml

3.4 S&P RESIN 55 Colle pour tissus S&P C-SHEET 240 et 640

Colle époxy bi-composant pour le collage et le marouflage des tissus S&P C-SHEET sur le support ; ou pour une application des lamelles S&P CFK engravées sur un support horizontal.

- Densité: env. 1,11 g/cm³
- Épaisseur d'application : ~ 1 mm
- Sec au toucher : 4 h.
- Délai de durcissement total : env. 7 jours *
- Température d'application : de +10° C à 30° C
- Allongement à rupture : 8 – 10 %
- Résistance à la traction sur béton : > 2,5 N/mm² (rupture dans le béton)

* à 20° C et 65 % d'humidité relative

Produit	Vie en pot			Humidité du support
	10° C	20° C	30° C	
DPU S&P RESIN 55	~ 3h.	~ 45 min.	~ 30 min.	< 4 %

Consommation selon la rugosité du support de béton (valeurs minimales).

Tissu	Consommation de S&P RESIN 55 (Imprégnation)
S&P C-SHEET S&P 240 (200 g/m ²)	~ 600 – 800 g/m ²
S&P C-SHEET S&P 240 (300 g/m ²)	~ 700 – 1000 g/m ²
S&P C-SHEET S&P 240 (400 g/m ²)	~ 900 – 1300 g/m ²
S&P C-SHEET S&P 640 (400 g/m ²)	
S&P C-SHEET S&P 240 (600 g/m ²)	~ 1100 – 1500 g/m ²

3.5 S&P RESICEM Colle pour tissus S&P C-SHEET 240

Colle époxy/ciment perméable à la vapeur d'eau pour le collage des tissus S&P C-SHEET 240 ; en cas d'emballage complet d'un poteau. Ce système permet les échanges gazeux entre l'élément enrobé et l'extérieur.

Le facteur de diffusion de vapeur d'eau μ_{H_2O} pour une épaisseur de S&P C-SHEET d'environ 1 mm collé avec le système S&P RESICEM est d'environ 5000 (perméable à la vapeur d'eau).

$S_d = \mu_{H_2O} \times \text{épais. revêtement [m]} < 5\text{m}$

- Densité: env. 1,36 g/cm³
- Durée Pratique d'Utilisation : env. 50 mn *
- Sec au toucher : 2 h.
- Délai de durcissement total : env. 7 jours *
- Température d'application : de +10° C à 30° C
- Résistance à la traction sur béton : > 2,5 N/mm²

- Adhérence sur acier : > 12 N/mm²
 - Module d'élasticité : 5000 N/mm²
 - μ_{H_2O} à 35 j. : env. 5200
- * à 20° C et 65 % d'humidité relative

3.6 S&P RESIN 230 Mortier de reprofilage des supports

Mortier époxy tri-composant utilisé pour reprofiler le support avant application des lamelles S&P CFK et tissus S&P C-SHEET.

- Densité : env. 1,9 g/cm³
- Durée Pratique d'Utilisation : env. 60 mn *
- Délai de durcissement total : env. 7 jours *
- Température d'application : de +10° C à 30° C
- Résistance à la traction sur béton : > 2,5 N/mm² (rupture dans le béton)
- Résistance à la flexion à 1 j. : 22 N/mm² *
- Résistance à la compression à 7 j. : 73 N/mm² *

* à 20° C et 65 % d'humidité relative

3.7 Pièces métalliques et ancrages pour renforcement à l'effort tranchant

Les cornières métalliques peuvent être :

- En acier S235 ou d'une nuance supérieure en fonction des efforts à reprendre. Dans ce cas, elles doivent être protégées de la corrosion. S&P fournira des pièces protégées par un complexe anticorrosion répondant aux sollicitations et compatible avec ses résines.
- En acier inoxydable. La qualité de l'acier inoxydable sera définie en fonction des sollicitations. Les surfaces seront préparées de manière adéquate pour le collage.

Les ancrages et tiges filetées seront en acier inoxydables A4. Par exemple : Ancre pour béton LMAS A4 avec résine de scellement SET-XP de SIMPSON Strong-Tie.

4. Dimensionnement

4.1 Introduction

Le dimensionnement du renforcement doit être réalisé par un bureau d'étude de structure. S&P met à disposition des calculateurs des logiciels de dimensionnement développés en interne et utilisés depuis 2000 en Europe. La responsabilité des résultats fournis par les logiciels et donc de la structure des logiciels revient au titulaire. Toutefois, le bureau d'étude structure utilisateur du logiciel reste responsable de la bonne utilisation des logiciels suivant le cahier des charges fourni, de la définition des hypothèses et des données d'entrée ainsi que de l'interprétation des résultats.

4.2 Comportement du renfort FRP

4.2.1 Notations

Matériau FRP

E_{fu}	Module d'élasticité moyen du matériau FRP
E_{fk}	Module d'élasticité caractéristique du matériau FRP (valeur minimum)
ε_{fu}	Allongement moyen à la rupture du matériau FRP
ε_{fk}	Allongement caractéristique à la rupture du matériau FRP (valeur minimum)
f_{fu}	Résistance moyenne à la rupture en traction du matériau FRP
f_{fk}	Résistance caractéristique à la rupture en traction du matériau FRP (valeur minimum)
n_f	Nombre de couches superposées de FRP
m_f	Nombre de bandes juxtaposées de FRP
s_f	Entraxe des bandes de FRP
A_f	Section de l'armature FRP
t_f	Épaisseur de l'armature FRP

b_f	Largeur de l'armature FRP
a_f	Distance entre axe des lamelles et bord libre de l'élément (maximum 150 mm)
t_s	Profondeur de la rainure dans le béton
b_s	Largeur de la rainure dans le béton
$\sigma_{f,ELS}$	Contrainte de dimensionnement à l'ELS du matériau FRP
$\sigma_{f,ELU}$	Contrainte de dimensionnement à l'ELU du matériau FRP
$\epsilon_{f,ELS}$	Allongement de dimensionnement à l'ELS du matériau FRP
$\epsilon_{f,ELU}$	Allongement de dimensionnement à l'ELU du matériau FRP
$R_{fd,ELS}$	Résistance de dimensionnement à l'ELS du matériau FRP
$R_{fd,ELU}$	Résistance de dimensionnement à l'ELU du matériau FRP

Renfort à la flexion

M_{EKO}	Moment caractéristique lors du renfort
N_p	Force de précontrainte caractéristique
M_{PO}	Part isostatique du moment de précontrainte caractéristique
$M_{p'}$	Part du moment de précontrainte dû à l'hyperstaticité de l'élément
M_{Edf}	Moment de dimensionnement de l'état renforcé
M_{EKF}	Moment caractéristique de l'état renforcé
M_{Rdf}	Moment de dimensionnement admissible de la section renforcée
M_{Rdo}	Moment de dimensionnement admissible de la section non renforcée
M_{Reo}	Moment admissible de la section non renforcée (combinaison accidentelle)
η_M	Degré de renforcement à la flexion
γ_{Me}	Sécurité globale restante lors de la défaillance du renfort FRP

Ancrage

f_{csm}	Résistance à la traction superficielle du béton (moyenne)
$f_{ck,cube}$	Résistance à la compression du béton sur cube (valeur caractéristique)
γ_c	Coefficient de sécurité du béton
$F_{fd,E}$	Force de traction du renfort FRP au point E
l_b	Longueur d'ancrage du renfort FRP
F_{bd}	Valeur de dimensionnement de la force de rupture de l'adhérence
$F_{bd,max}$	Valeur de dimensionnement de la force maximale de rupture de l'adhérence
$l_{b,max}$	Longueur d'ancrage correspondant à la force maximale de rupture de l'adhérence
$\tau_{k,k}$	Valeur caractéristique de la résistance au cisaillement de la colle époxy
γ_b	Coefficient de sécurité de la colle époxy
x_E	Distance entre le point E et l'axe théorique de l'appui
a_i	Distance entre l'axe théorique de l'appui et l'arête du bord de l'appui
f	Distance entre l'extrémité du renfort FRP et l'arête du bord de l'appui
a_L	Décalage horizontal de la ligne de force de traction selon Eurocode 2

Effort tranchant

V_{Edf}	Valeur de dimensionnement de l'effort tranchant à l'état renforcé
V_{max}	Capacité maximale à l'effort tranchant de la section renforcée
$V_{Rd,c}$	Résistance au cisaillement du béton
$V_{Rd,s}$	Résistance au cisaillement de l'acier existant
$V_{Rd,max}$	Résistance maximum des bielles de compression
ΔV	Effort tranchant admissible par le renfort de l'effort tranchant
a_{sw}	Section de l'armature d'étriers internes
σ_{sw}	Contrainte des étriers intérieurs
$\epsilon_{fw,ELU}$	Allongement de dimensionnement à l'ELU pour le renfort à l'effort tranchant

t_w	Epaisseur des étriers externes
b_w	Largeur des étriers externes
S_w	Entraxe des étriers externes
a_w	Section de l'armature d'étriers externes par mètre
A_w	Section d'un seul étrier externe
σ_{fw}	Contrainte des étriers externes
$\sigma_{fw,ELU}$	Contrainte de dimensionnement à l'ELU pour le renfort à l'effort tranchant
z_f	Bras de levier interne entre la force de compression du béton et la force de tension du renfort flexionnel FRP

Confinement

A_g	section transversale totale du poteau
A_s	section transversale de l'armature longitudinale
f_{cd}	valeur caractéristique de la résistance du béton à la compression
f_{cc}	valeur caractéristique de la résistance à la compression du béton confiné
α	coefficient pour le chargement à long terme selon EC2
f_s	valeur caractéristique de la résistance de l'acier
γ_{cc}	coefficient de sécurité partiel pour la résistance tri-axial du béton
γ_s	coefficient de sécurité partiel pour la résistance de l'acier
D	diamètre de la section du poteau circulaire
b	grand côté de la section du poteau rectangulaire
d	petit côté de la section du poteau rectangulaire
r	rayon de courbure des angles du poteaux rectangulaire
ρ_f	ratio d'armature FRP
ϵ_a	déformation axiale du poteau
ϵ_l	déformation latérale
σ_l	compression effectif du confinement

4.3 Lois de comportement du matériau FRP et caractéristiques du matériau

4.3.1 Valeurs garanties

Le matériau FRP a un comportement linéaire élastique jusqu'à la rupture. Le module d'élasticité dépend du système FRP choisi. Les valeurs suivantes sont garanties :

S&P Lamelle CFK 150/2000

$$E_{fk} = 170'000 \text{ [N/mm}^2\text{]}$$

$$\epsilon_{fk} = 15,0 \text{ [‰]}$$

S&P Lamelle CFK 200/2000

$$E_{fk} = 205'000 \text{ [N/mm}^2\text{]}$$

$$\epsilon_{fk} = 13,0 \text{ [‰]}$$

S&P C-SHEET 240

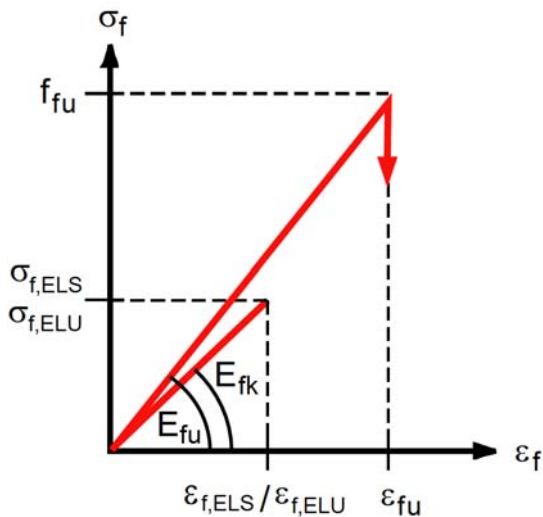
$$E_{fk} = 240'000 \text{ [N/mm}^2\text{]}$$

$$\epsilon_{fk} = 15,5 \text{ [‰]}$$

S&P C-SHEET 640

$$E_{fk} = 640'000 \text{ [N/mm}^2\text{]}$$

$$\epsilon_{fk} = 4,0 \text{ [‰]}$$



4.32 Contraintes et déformations de calcul

Les contraintes et déformations à prendre en compte dans les calculs suivant les recommandations de l'AFGC 2011 sont celles indiquées dans les tableaux ci-dessous.

Dans les tableaux ci-dessous les valeurs à prendre pour le dimensionnement sont en gras.

Lamelles collées en surface Et lamelle engravées			150/2000	200/2000
Contrainte de rupture (Valeur moyenne)	f_{fu}	[MPa]	2 700	2 820
Contrainte de rupture (Valeur minimum)	f_{fk}	[MPa]	2 550	2 665
Allongement à la rupture (valeur minimum)	ϵ_{fk}	[‰]	15,0	13,0
Module d'élasticité (valeur minimum)	E_{fk}	[MPa]	170 000	205 000
Contrainte de dimensionnement à l'ELS (AFGC 2.2.3) A l'ELS, la contrainte dans le composite sera limitée à $\min(0.9\sigma_{slim}, \sigma_{f,ELS})$ avec σ_{slim} la limite de la contrainte de traction des aciers (AFGC Février 2011 ; §2.4.3)	$\sigma_{f,ELS}$	[MPa]	1 250	1 300
Contrainte de dimensionnement à l'ELU (AFGC §2.2.3)	$\sigma_{f,ELU}$	[MPa]	1 400	1 465
Allongement de dimensionnement à l'ELS	$\epsilon_{f,ELS}$	[‰]	7,35	6,34
Allongement de dimensionnement à l'ELU	$\epsilon_{f,ELU}$	[‰]	8,23	7,15

Exemple de dimensionnement pour une lamelle type 150/2000, dimension 100/1.2mm :

-Dimensionnement à l'ELS :

$$R_{fd,ELS} = 1'250 \text{ MPa} \times 100\text{mm} \times 1.2\text{mm} = 150 \text{ kN}$$

-Dimensionnement à l'ELU :

$$R_{fd,ELU} = 1'400 \text{ MPa} \times 100\text{mm} \times 1.2\text{mm} = 168 \text{ kN}$$

Tissus S&P C-SHEET 240 en flexion			S&P C-SHEET 240
Allongement à la rupture (valeur minimum)	ϵ_{fk}	[‰]	15,5
Module d'élasticité (valeur minimum)	E_{fk}	[MPa]	240 000
Contrainte de rupture (valeur minimum)	f_{fk}	[MPa]	3 720
Contrainte de dimensionnement à l'ELS A l'ELS, la contrainte dans le composite sera limitée à $\min(0.9\sigma_{slim}, \sigma_{f,ELS})$ avec σ_{slim} la limite de la contrainte de traction des aciers (AFGC Février 2011 ; §2.4.3)	$\sigma_{f,ELS}$	[MPa]	1 200
Contrainte de dimensionnement à l'ELU	$\sigma_{f,ELU}$	[MPa]	1 720
Allongement de dimensionnement à l'ELS	$\epsilon_{f,ELS}$	[‰]	5,00
Allongement de dimensionnement à l'ELU	$\epsilon_{f,ELU}$	[‰]	7,17

Exemple de dimensionnement pour un tissu C-SHEET 240, 400g/m2

$$\text{Dimensionnement à l'ELS : } R_{fd,ELS} = 1'200 \text{ MPa} \times 234\text{mm}^2 = 280.8 \text{ kN}$$

$$\text{Dimensionnement à l'ELU : } R_{fd,ELU} = 1'720 \text{ MPa} \times 234\text{mm}^2 = 402.5 \text{ kN}$$

Tissus S&P C-SHEET 240 et 640 à l'effort tranchant			S&P C-SHEET 240	S&P C-SHEET 640
Allongement à la rupture (valeur minimum)	ϵ_{fk}	[‰]	15,5	4,0
Module d'élasticité (valeur minimum)	E_{fk}	[MPa]	240 000	640 000
Contrainte de rupture (valeur minimum)	f_{fk}	[MPa]	3 720	2 560
Contrainte de dimensionnement à l'ELU Pour l'utilisation avec ancrages par cornières métallique, limiter la contrainte de dimensionnement $\sigma_{fw,ELU}$ à 800MPa.	$\sigma_{fw,ELU}$	[MPa]	960*	1 190
Allongement de dimensionnement à l'ELU (Limitation interne S&P)	$\epsilon_{fw,ELU}$	[‰]	4,00	1,86

Exemple de dimensionnement pour un tissu C-SHEET 240, 400g/m2

$$\text{Dimensionnement à l'ELU : } R_{fdw,ELU} = 960 \text{ MPa} \times 234\text{mm}^2 = 224.6 \text{ kN}$$

Adhérence FRP – support pour les systèmes FRP collés en surface

La force de rupture de l'adhérence F_{bd} des lamelles ou tissus FRP n'augmente plus à partir d'une certaine longueur d'ancrage $l_{b,max}$. La force de rupture de l'adhérence maximale $F_{bd,max}$ peut être déterminée à l'aide des propriétés des matériaux FRP et de la résistance à la traction superficielle du support.

$$F_{bd,max} = 0,225 \cdot m_f \cdot b_f \cdot \sqrt{E_{fk} \cdot n_f \cdot t_f \cdot \sqrt{f_{csd} \cdot f_{cd,cube}}} \quad [N] \quad (1)$$

$$\text{avec } f_{csd} = \frac{f_{csm}}{\gamma_c} \quad [N/mm^2] \text{ et } f_{cd,cube} = \frac{f_{ck,cube}}{\gamma_c} \quad [N/mm^2] \quad (2)$$

La force de traction f_{csm} est déterminée par essais d'adhérence par traction directe. Elle est de :

Minimum pour les tissus : 1.50 N/mm²

Minimum pour les lamelles : 1.50 N/mm²

Maximum pour tissus et lamelles : 3.00 N/mm²

La longueur d'ancrage correspondante $l_{b,max}$ peut être déterminée par la relation suivante

$$l_{b,max} = 1,46 \sqrt{\frac{E_f \cdot n_f \cdot t_f}{\sqrt{f_{csm} \cdot f_{ck,cube}}}} \quad [mm] \quad (3)$$

La force de rupture de l'adhérence F_{bd} correspondant à une longueur d'ancrage $l_b \leq l_{b,max}$ est de :

$$F_{bd} = F_{bd,max} \cdot \frac{l_b}{l_{b,max}} \cdot \left(2 - \frac{l_b}{l_{b,max}} \right) \quad (4)$$

4.4 Adhérence FRP – support pour les lamelles engravées

Au contraire des lamelles collées superficiellement, les lamelles collées dans des rainures peuvent être utilisées jusqu'à la résistance à la traction du matériau. On peut décrire la force de traction reprise par l'adhérence de la lamelle F_{bd} en fonction de la longueur d'ancrage l_b :

$$F_{bd} = m_f \cdot b_f \cdot \tau_{k,d} \cdot \sqrt[4]{a_r} \cdot l_b \cdot (0,4 - 0,0015 \cdot l_b) \cdot 0,95 \quad \text{pour } l_b \leq 115 [mm] \quad (5)$$

$$F_{bd} = m_f \cdot b_f \cdot \tau_{k,d} \cdot \sqrt[4]{a_r} \cdot \left(26,2 + 0,065 \cdot \tanh\left(\frac{a_r}{70}\right) \cdot (l_b - 115) \right) \cdot 0,95 \quad \text{pour } l_b > 115 [mm] \quad (6)$$

$$\text{avec } \tau_{k,d} = \tau_{k,k} / \gamma_b \quad \text{et } \gamma_b = 1,3$$

4.5 Hypothèses de calcul

Les calculs sont menés conformément à l'Eurocode 2 en appliquant les règles mécaniques connues du dimensionnement classique du béton armé :

- Pour le dimensionnement en flexion on admet que les sections droites restent planes après déformation (hypothèse de Bernoulli).
- Une contribution de la résistance à la traction du béton n'entre pas en considération. Toutes les forces de traction nécessaires à l'équilibre interne sont reprises par l'armature interne et par le renfort FRP.
- Pour les éléments précontraints on peut prendre en compte la résistance à la traction du béton.
- On admet la collaboration complète de l'armature existante et du renfort FRP dans le cadre des limites d'allongement.
- On admet une connexion totalement rigide. Tous les éléments de la section, à l'exception des câbles de précontrainte non injectés, qui se trouvent dans des fibres situées à égale distance de la fibre neutre subissent le même allongement. collaboration complète de l'armature existante et du renfort FRP dans le cadre des limites d'allongement.

Les combinaisons des charges, le comportement des matériaux aciers et béton et les coefficients de sécurité sont donnés par l'Eurocode 2. La vérification à l'état limite ultime se base sur une comparaison de la valeur de dimensionnement d'une sollicitation avec la valeur de dimensionnement de la capacité portante de la section selon la condition suivante :

$$E_{dr} \leq R_{dr} \quad (7)$$

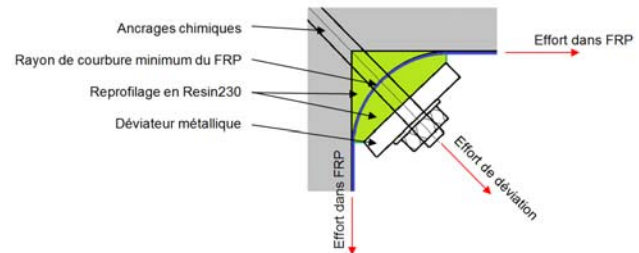
La détermination de la section de FRP nécessaire respective du moment de flexion admissible avant et après le renforcement s'effectue par calcul itératif de l'équilibre des forces internes.

4.6 Reprise des efforts de déviation

Lorsque la mise en œuvre du système FRP (lamelle ou tissu) induit une poussée au vide, la zone de déviation doit être munie d'un dispositif reprenant ces efforts. Le système pour reprendre la poussée au vide peut être composé d'une pièce métallique ancrée dans le béton par des ancrages chimiques. Les ancrages et la pièce métallique seront dimensionnés en fonction des efforts de déviation à reprendre. Les rayons de courbures minimums des systèmes FRP devront être respectés :

Tissus : rayon $\geq 25mm$

Lamelles jusqu'à une épaisseur de 1.4mm : rayon $\geq 600mm$



4.7 Renforcement en flexion du béton armé et précontraint

4.7.1 Principe

La détermination de la capacité portante flexionnelle de la section non renforcée MRd0 et de l'état d'allongement initial ϵ_0 ainsi que le calcul de la section FRP nécessaire $A_{f,min}$ et de la capacité portante flexionnelle pour l'état renforcé MRdf s'effectuent sur la base des conditions d'équilibre $\Sigma H = 0$ et $\Sigma M = 0$ en tenant compte des lois des matériaux.

Forces internes

$$\text{Acier } F_s = E_s \cdot A_s \cdot \epsilon_s \leq A_s \cdot f_{yk} / \gamma_s \quad (8)$$

$$\text{FRP } F_f = E_{fk} \cdot A_f \cdot \epsilon_f \quad \text{avec } \epsilon_f \leq \epsilon_{f,ELU}; \epsilon_{f,ELS} \quad (9)$$

$$\text{Béton } F_c = b \cdot \alpha_R \cdot x \cdot \alpha \cdot f_{ck} / \gamma_c \quad (10)$$

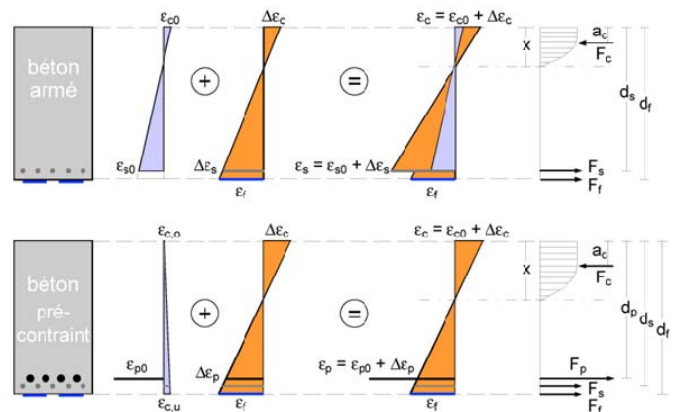
(α_R : paramètre de la courbe parab.)

Conditions d'équilibre

$$\Sigma H = 0 \quad F_c - F_s - F_p - F_f = 0 \quad (11)$$

$$\Sigma M = 0 \quad F_c \cdot a_c - F_s \cdot d_s - F_p \cdot d_p - F_f \cdot d_f = 0 \quad (12)$$

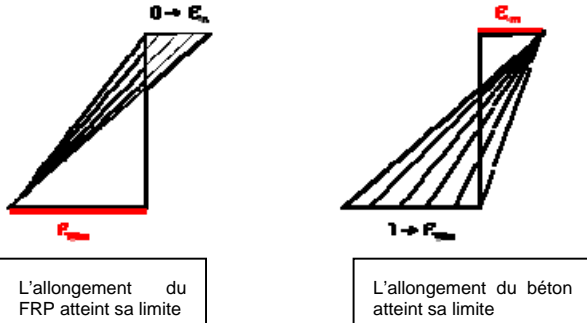
La résolution des conditions d'équilibre s'effectue itérativement en variant les allongements dans la zone comprimée et la zone tendue. Les conditions d'équilibre sont contrôlées en passant les différents états d'allongement.



On détermine d'abord la répartition des allongements de l'état d'allongement initial. Après, pour la section renforcée, on cherche par itération un état d'allongement pour lequel les forces internes et externes de l'élément en béton armé ou précontraint sont en équilibre. Lors du calcul on superpose l'état d'allongement dû à l'allongement initial à celui dû à la sollicitation supplémentaire de l'état renforcé.

4.72 État limite ultime

À l'état limite ultime, les matériaux doivent respecter leur allongement limite. En règle générale l'état limite ultime est déterminé par l'allongement limite du système FRP. Si au contraire la zone comprimée du béton est très fortement exploitée, un renfort FRP n'est souvent pas judicieux.



Pour les systèmes FRP collés en surface, la capacité portante calculée de l'élément renforcé ne doit pas être plus grande que deux fois celle de l'élément non renforcé. Cela s'exprime par le degré de renforcement à la flexion, défini comme suit :

- dans le cas d'un élément principal, dont la rupture est susceptible d'entraîner celle d'autres éléments (poutre porteuse, par exemple) :

$$\eta_M = \frac{M_{Edf}}{M_{Rd0}} \leq 1/0.63 \quad (13)$$

- 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) :

$$\eta_M = \frac{M_{Edf}}{M_{Rd0}} \leq 1/0.5 \quad (14)$$

4.73 État de service

À l'état de service, l'armature interne ne doit pas dépasser la limite élastique. D'autre part les contraintes à l'état de service aussi bien pour le béton et les aciers que pour la section FRP choisie sont déterminées et comparées aux limites données par l'Eurocode 2 et au paragraphe « Contraintes et déformations de calcul » du présent dossier technique.

4.74 Vérification de l'ancrage d'extrémité FRP

La vérification de l'ancrage est effectuée pour l'état limite ultime en tenant compte des facteurs de sécurité partiels des sollicitations et des matériaux. On effectue la vérification au point final E de la longueur d'ancrage l_b du renfort FRP. Dans le cadre de la couverture de la force de traction, il faut vérifier que la valeur de dimensionnement de la force de traction FRP F_{fd} existante au point E est plus petite que la force de rupture de l'adhérence F_{bd} ancrable sur la longueur l_b du système FRP choisi.

$$\text{Poutres } F_{bd} \geq F_{fd} \quad (15)$$

$$\text{Dalles pleines } F_{bd} / 1,2 \geq F_{fd} \quad (16)$$

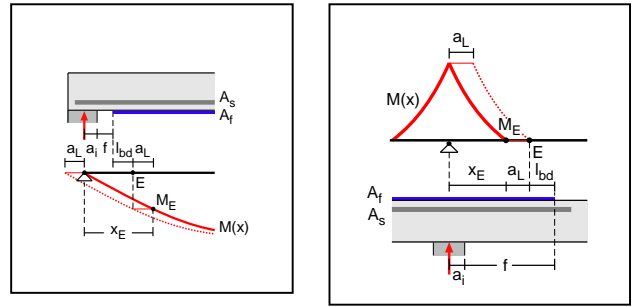
La force de traction FRP de calcul F_{fd} est déterminée par une itération de l'équilibre à partir du moment donné. F_{bd} est la valeur de dimensionnement de la force de rupture de l'adhérence au point E. Elle se calcule à partir des caractéristiques des sections FRP choisies et de la résistance respective du béton et de la colle.

Systèmes FRP collés en surface

Pour la vérification de l'appui d'extrémité le point E est dessiné dans le graphique. La distance x_E entre le point E et l'axe de l'appui est calculée comme suit :

$$x_E = a_i + f + l_{bd} + a_L \quad \text{avec } f \leq 5 \text{ cm} \quad (17)$$

Lors de la vérification d'un appui intérieur le point E correspond au point de moment nul. Cette vérification n'est pas nécessaire pour les renforcements locaux (par exemple les trémies). Pour les renforcements locaux, se référer au paragraphe « Renforcements locaux » du présent dossier technique.



Lamelles engravées

Au contraire des systèmes FRP collés en surface, les lamelles S&P CFK engravées peuvent être ancrées à partir du point où, selon le calcul, elles ne sont plus nécessaires pour couvrir la force de traction. Il s'agit de l'endroit auquel le moment agissant atteint la capacité portante flexionnelle M_{Rd0} de la section non renforcée. Le point E pour lequel la vérification de l'ancrage est effectuée est déterminé par la condition $M_E = M_{Rd0}$.

4.75 Éléments en béton précontraint

Pour les éléments précontraints il faut indiquer la précontrainte des aciers en tenant compte de toutes les pertes ($t = \infty$). La force de précontrainte résultante et la part isostatique du moment de précontrainte M_{p0} sont déterminés. Ces valeurs se rapportent à la section, à la précontrainte et à la hauteur utile de l'armature précontrainte.

Le logiciel ne prend en compte que la part du moment de précontrainte isostatique. Si l'élément précontraint est hyperstatique, il faut ajouter la part du moment hyperstatique de précontrainte M_p' aux moments dus aux charges MEKO, MEdf et MEKf.

Comme les éléments en béton précontraint sont en règle générale non fissurés dans la zone proche de l'appui, l'armature FRP collée doit toujours être ancrée en arrière de la dernière fissure de flexion. Alors la section pour la vérification de l'ancrage d'extrémité FRP se trouve au point où le moment sollicitant correspond au moment de fissuration de la section précontrainte.

Le point E pour lequel la vérification de l'ancrage est effectuée correspond dans ce cas à l'endroit auquel le moment agissant M_E atteint le moment de fissuration M_{cr} de la section.

4.76 Règles constructives

Lamelles et tissus collés en surface

$$\text{Distance au bord : } a_{r,\min} = c_w \quad (18)$$

$$\text{Entraxe : portée } s_{r,\max} = 0,2 \cdot l \quad (19)$$

$$\text{Entraxe : porte-à-faux } s_{r,\max} = 0,4 \cdot l \quad (20)$$

$$\text{Entraxe : dalles } s_{r,\max} = 5 \cdot h \quad (21)$$

$$\text{Nombre de couches : S\&P Lamelle CFK } n_{r,\max} = 2 \quad (22)$$

$$\text{Nombre de couches : S\&P C-SHEET } n_{r,\max} = 5 \quad (23)$$

Lamelles engravées

$$\text{Rainure : } t_{s,\max} = c_w - 5 \text{ [mm]} \quad (24)$$

$$\text{Rainure : } b_{s,\min} = t_f + 1 \text{ [mm]} \quad (25)$$

$$\text{Rainure : } b_{s,\max} = t_f + 3 \text{ [mm]} \quad (26)$$

$$\text{Distance au bord : } a_{r,\min} = \min(2b_f ; d_k) \quad (27)$$

$$\text{Entraxe : } s_{r,\min} = d_k \text{ ou } b_f \text{ (si } a_s \geq 2d_s) \quad (28)$$

$$\text{Entraxe : portée } s_{r,\max} = 0,2 \cdot l \quad (29)$$

$$\text{Entraxe : porte-à-faux } s_{r,\max} = 0,4 \cdot l \quad (30)$$

$$\text{Entraxe : dalles } s_{r,\max} = 4 \cdot h \quad (31)$$

Dans les équations (17) à (30) on a :

c_w	enrobage de béton des étriers internes
a_r	distance entre axe des lamelles et bord libre de l'élément
s_r	entraxe entre les lamelles
n_r	nombre de couche de lamelle ou de tissus
t_s	profondeur de la rainure dans le béton
b_s	largeur de la rainure dans le béton
t_f	épaisseur de l'armature FRP

b_f largeur de l'armature FRP
 d_k diamètre du plus gros grain du béton | portée ou porte à faux de l'élément renforcé

4.8 Renforcement à l'effort tranchant

4.8.1 Principe

L'effort tranchant agissant est comparé aux valeurs de dimensionnement de la résistance à l'effort tranchant selon Eurocode 2. Au sujet de la résistance à l'effort tranchant il faut distinguer les quatre cas suivants :

- $V_{Edf} \leq V_{Rd,c}$ (32)
 Si la sollicitation d'effort tranchant V_{Edf} de l'élément à renforcer est plus faible que l'effort tranchant $V_{Rd,c}$ admissible par le béton seul, aucun renfort à l'effort tranchant n'est nécessaire. Ce cas se présente généralement pour les dalles.
- $V_{Edf} \leq V_{Rd,s}$ (33)
 Si la sollicitation d'effort tranchant à l'état renforcé peut être totalement reprise en utilisant l'armature d'étriers interne, aucun renfort à l'effort tranchant n'est nécessaire.
- $V_{Edf} > V_{Rd,s}$ (34)
 Si la sollicitation d'effort tranchant à l'état renforcé dépasse la résistance à l'effort tranchant théorique de la section existante, le renfort de cisaillement est à dimensionner pour la différence de force :
 $\Delta V = V_{Edf} - V_{Rd,s}$ (35)
 Dans le cas présent, le renfort à l'effort tranchant doit être ancré dans la zone flexionnelle comprimée. L'ancrage dans la zone de compression et assuré si le renforcement entoure entièrement la poutre ou avec des dispositifs particuliers d'ancrage du tissu.

4.8.2 Dimensionnement du renfort à l'effort tranchant

Le dimensionnement du renfort de cisaillement $a_{w,min}$ s'effectue selon la relation suivante :

$$a_{w,min} = \Delta V / (z_f \cdot \sigma_{fw}) \text{ avec } \sigma_{fw} = \varepsilon_{fw,ELU} \cdot E_{fk} \quad (36)$$

avec $a_{w,min} = A_{w,min} / s_w$ et z_f calculé par itération ($z_f \sim 0,95 h$)
 $a_{w,min}$: Renfort de cisaillement par mètre
 $A_{w,min}$: Renfort de cisaillement par pièce

Pour éviter qu'une fissure d'effort tranchant puisse se former entre deux bandes de tissu, on limite l'espacement entre deux bandes de tissu à 80 % de la hauteur de l'élément de construction.

$$s_{w,max} = 0,8 \cdot h \quad (37)$$

Avant un ceinturage avec des tissus S&P C-SHEET il faut arrondir les arêtes de l'élément en béton avec le rayon minimal $r \geq 2,5 \text{ cm}$.

4.8.3 Ancrage des tissus dans la zone de compression

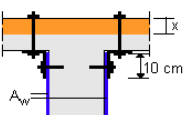
L'ancrage des tissus dans la zone de compression peut être effectué par enrobage total de l'âme de la section, fermé par recouvrement collé avec une longueur de recouvrement d'au moins 10 cm.

Dans ce cas, les renforcements à l'effort tranchant avec des moments négatifs (en supérieur) est possible avec le recouvrement des tissus dans la zone de compression qui est située en bas de la poutre.



Pour le renforcement d'effort tranchant avec le S&P C-SHEET 240, l'ancrage des tissus dans la zone de compression peut également être réalisé à l'aide d'éléments en acier comme représenté ci-dessous. Les éléments en acier devront être protégés de la corrosion avec une peinture compatible avec les résines de collage de S&P.

Les angles (fer équerre) sont collés sur le tissu avec une longueur d'ancrage de 10 cm et boulonnées dans la dalle et aussi dans l'âme de la poutre pour éviter la rotation du fer équerre. Voir Annexe 4.



5. Confinement de poteaux en béton

5.1 Principe

La capacité de charge de poteaux peut être augmentée si on confine le poteau avec des matériaux FRP. Le confinement empêche la déformation transversale du poteau, ce qui génère une contrainte tri-axiale dans le béton. La résistance à la compression du béton est ainsi augmentée.

Les calculs sont basés sur les hypothèses suivantes:

- Les poteaux ne sont pas exposés au flambage ($\lambda \leq 25$).
- Les poteaux ont une moindre excentricité de la charge ($e \leq 2 \text{ cm}$).
- Les poteaux sont enveloppés complètement en FRP sur toute la hauteur.
- Il n'y a pas de glissement entre les renforts et le béton.
- Toutes les fibres du poteau comprimé subissent la même déformation longitudinale.

Le calcul est basé sur le concept de sécurité partiel de l'Eurocode 2 et le confinement est dimensionné selon le bulletin 14 de la fib (Fédération Internationale du Béton, 2001). La déformation maximale du béton est limitée à $\varepsilon_{c2u} = 2,0$ [‰] selon l'Eurocode 2. Le module d'élasticité E_c du béton utilisé représente la pente de la tangente à l'origine.

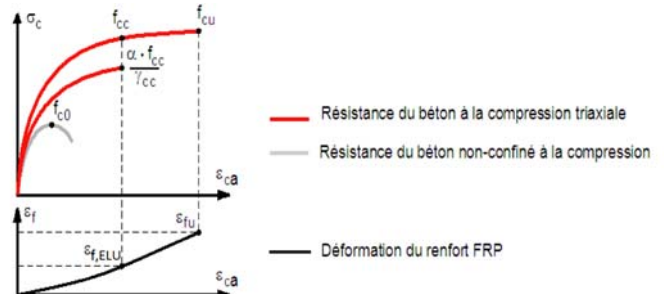
La compression effective induit par le confinement est déterminé comme suit :

$$\sigma_l = \rho_f \cdot k_e \cdot E_{fd} \cdot \varepsilon_l \text{ avec } \varepsilon_l \leq \varepsilon_{f,ELU} \quad (38)$$

La résistance à la compression du béton confiné se calcule selon la formule suivante :

$$f_{cc} = f_{c0} \cdot \left(2,254 \cdot \sqrt{1 + 7,94 \cdot \frac{\sigma_l}{f_{c0}}} - 2 \cdot \frac{\sigma_l}{f_{c0}} - 1,254 \right) \cdot \left(1,4 \cdot \frac{h}{b} - 0,6 \cdot \left(\frac{h}{b} \right)^2 - 0,8 \cdot \sqrt{\frac{\sigma_l}{f_{c0}}} + 1 \right) \quad (39)$$

Le graphique montre la déformation du renfort FRP et le développement de la résistance à la compression du béton induit par la déformation axiale du poteau.



Les extrémités des fibres sont ancrées par chevauchement. Une longueur d'ancrage de 15 cm garantit la transmission de la force maximale du tissu. Cette longueur d'ancrage est calculée en admettant une résistance à la traction du support de 3 N/mm² entre les couches du tissu qui se touchent.

5.2 État limite ultime

Le modèle de design selon la fib est basé sur un processus itératif. La déformation axiale est augmentée graduellement et la contrainte correspondante du confinement est déterminée. On obtient l'état limite ultime lorsque le confinement FRP arrive à sa déformation limite.

L'allongement du confinement FRP est limité à :

$$\varepsilon_{f,ELU} = 4,0 \text{ [‰]} \quad (40)$$

La capacité portante du poteau renforcé est déterminée comme suit :

$$N_{Rdf} = (A_g - A_s) \cdot \frac{\alpha \cdot f_{cc, fib}}{\gamma_{cc}} + A_s \cdot \frac{f_s}{\gamma_s} \quad (41)$$

Le coefficient de sécurité du béton confiné est égal à la valeur du béton normal : $\gamma_{cc} = \gamma_c = 1,5$.

5.3 Poteau circulaire

Pour renforcer des poteaux circulaires, la section confinée par le renfort FRP est supposée égale à la section totale du béton. Le facteur k_e est égal à 1. Le ratio d'armature se calcule comme suit :

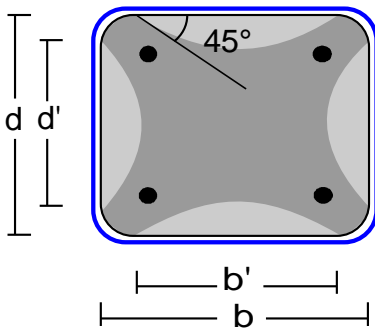
$$\rho_f = \frac{2 \cdot t_f}{D} \quad (42)$$

5.4 Poteau rectangulaire

Pour les poteaux rectangulaires, l'état de contraintes triaxial engendré ne se répartit pas dans toute la section enveloppée par le renfort FRP, mais seulement dans une zone effective qui dépend de la géométrie du poteau. Un facteur de réduction prenant en compte les zones non-confinées est introduit. Cette méthode est basée sur l'hypothèse que la pression induite par les renforcements transversaux est uniformément réparti sur la circonférence. L'extension tridimensionnelle est prise en compte par le coefficient k_e :

$$k_e = 1 - \frac{b'^2 + d'^2}{3 A_g (1 - A_s / A_g)} \quad (43)$$

avec $b' = b - 2r$ et $d' = d - 2r$



Le ratio d'armature se calcule pour les directions x et y comme suit :

$$\rho_{fx} = \frac{2 \cdot t_f}{b} \quad \rho_{fy} = \frac{2 \cdot t_f}{d}$$

Et $\rho_f = \max(\rho_{fx}; \rho_{fy}) \quad (44)$

Avant un enveloppement avec des tissus FRP il faut arrondir les arêtes de l'élément en béton avec le rayon minimal $r \geq 3,5$ cm.

Le renforcement n'est pas recommandé pour des poteaux rectangulaires dont le grand côté b est supérieur ou égal à 3 fois le petit côté d.

6. Application

6.1 Support

6.1.1 Vérification de la qualité et de la planéité du support

6.1.1.1 Détermination de la résistance à la traction du support

La cohésion interne du béton est déterminante pour le choix du système de renforcement.

Le tableau 1 ci-dessous détermine les valeurs minimales pour les lamelles S&P CFK ou les tissus S&P C-SHEET.

Système de renforcement FRP	Valeurs minimales de résistance à la traction du support β_t
S&P C-SHEET	> 1.5 N/mm ²
Lamelles S&P CFK	> 1.5 N/mm ²

Tableau 1: résistance minimale à la traction du support β_t

Sur la surface de béton soigneusement préparée, on déterminera la résistance à la traction du béton en trois endroits au moins. La zone

d'arrachement est délimitée par une saignée d'au moins 5 mm réalisée par sciage ou par carottage.

Si l'on utilise un mortier de reprofilage, on exécutera, en bordure de la surface appliquée, de 1 essai par m² à 3 essais pour de grandes surfaces.

La valeur moyenne β_t , établie sur la base de 3 essais au minimum ne doit pas être inférieure à la valeur β_t indiquée dans le tableau 1.

6.1.1.2 Planéité de la surface de béton préparée

Les inégalités de la surface de béton seront reprofilées avec des mortiers de réparation et de compensation S&P ou garantissant des valeurs mécaniques conformes aux minimas demandés dans ce document.

Les systèmes FRP S&P ne doivent pas se coller sur des supports irréguliers, ce qui pourrait entraîner des poussées au vide indésirables.

Le passage d'une règle métallique de 2 mètres de longueur ne doit laisser subsister aucune inégalité de plus de 5 mm. Des inégalités < 1 mm sont admissibles sous une règle de 30 cm.

Avant de procéder aux opérations de collage on vérifiera la température de l'air, l'humidité relative de l'air, le point de rosée, la température du béton, la température des éléments FRP S&P et l'humidité du béton.

6.1.1.3 Détermination du point de rosée

Pour déterminer la température du point de rosée, il convient de mesurer l'humidité relative de l'air ainsi que la température de l'air. Pour évaluer le risque de formation d'eau de condensation, la température du point de rosée sera comparée à la température superficielle de l'élément de construction, celle-ci devant être au moins de 3 °C supérieure à la température du point de rosée (cf. tableau des points de rosée).

6.1.1.4 Humidité du support en béton

Le chauffage de la surface fournit un premier indice quant à la présence d'humidité perturbatrice. En séchant, des surfaces humides s'éclaircissent.

Quantitativement, la teneur en humidité peut se déterminer à l'aide d'un appareil CM: des morceaux de béton sont fragmentés dans un mortier, tamisés et pesés.

La pesée est introduite dans un flacon à pression avec une quantité bien déterminée de carbure de calcium (ampoule en verre de 5 mg). Après agitation, les billes d'acier introduites en plus dans le flacon cassent l'ampoule en verre. Le mélange des fragments de béton et du carbure de calcium provoque une réaction chimique entre l'eau contenue dans les fragments et le carbure de calcium pour former de l'acétylène. La pression de gaz résultante dépend de la teneur en humidité des fragments de béton et peut se lire sur un manomètre. La teneur en humidité subordonnée à la pression relevée sera tirée des tableaux correspondants des appareils.

Pour déterminer la teneur en humidité, on peut également procéder à un séchage en armoire à 105 °C jusqu'à ce que le poids des échantillons prélevés reste constant.

Humidité maximale du support en fonction des produits de collage

Produit de collage	Humidité maximale du support
S&P RESIN 220 / S&P RESIN 230	4 %
S&P RESIN 55	4 %
S&P RESICEM	10 %

6.1.2 Préparation mécanique du support

La préparation mécanique peut se faire par sablage, grenailage, fraisage ou par ponçage pour les petites surfaces (collage des lamelles S&P CFK par exemple), ou tout autre préparation assurant les caractéristiques minimum requises pour l'adhérence (Tissus > 1 N/mm²; Lamelles > 1.5 N/mm²). Un hydro sablage peut également convenir, mais dans ce cas un temps de séchage doit être observé avant la pose de la lamelle pour revenir à un taux d'humidité inférieur au maximum autorisé.

La rugosité superficielle moyenne optimale sera de 0.5 – 1.0 mm

Avant collage, le support doit être parfaitement dépoussiéré.

La surface à coller ne comportera pas plus de 20% de sa surface ragrée.

6.2 Contrôle de l'application

6.2.1 Liaison S&P CFK/S&P C-SHEET, colle et béton

La qualité de la liaison d'un système FRP S&P appliqué revêt une très grande importance. La liaison peut à son tour être testée par des essais de résistance à la traction.

Il est possible de procéder à des essais de traction type SATTEC sur les lamelles S&P CFK ou les tissus S&P C-SHEET. Cela implique d'avoir appliqué des éléments supplémentaires dédiés à ces essais.

Il est également possible de prévoir des essais à la traction pour vérifier à des périodes déterminées la bonne adhérence du système FRP S&P.

6.22 Planéité des éléments S&P CFK/S&P C-SHEET collés

La planéité du S&P CFK ou du S&P C-SHEET sera testée immédiatement après l'application. L'écart entre une surface plane et une règle de 30 cm ne doit pas excéder $\Delta h = 1$ mm, resp. $\Delta h = 5$ mm sous une règle de 2 m.

6.23 Contrôle des vides dans la colle et entre la colle et le support

Après collage, le FRP sera contrôlé au maillet pour détecter les vides.

7. Mise en œuvre

7.1 Lamelles S&P CFK

7.11 Lamelles collées

Support

Un support sain est indispensable pour réaliser un renforcement avec des Lamelles S&P CFK. Avec un ancien béton, le support doit présenter une contrainte d'adhérence de traction d'au moins 1.5 N/mm². Cette valeur peut être augmentée suivant les résultats des essais jusqu'à un maximum de 3 N/mm². Les ragréages pelliculaires sont éliminés. La rugosité superficielle moyenne optimale sera de 0.5 – 1.0 mm. Les méthodes de préparation idéales sont le sablage, le grenailage ou le ponçage. On évitera tout apport d'humidité. On éliminera aussi toutes les substances étrangères telles que saleté, huiles et graisses. Juste avant l'application de la colle à base de résine époxy S&P RESIN 220, la surface sera débarrassée des particules libres à la brosse ou à l'aspirateur.

Injection de fissures

Les fissures existantes seront traitées avec de la résine d'injection conforme à la NF EN 1504-5.

Couche de fond

Si le support présente de faibles valeurs d'adhérence de traction, celles-ci seront améliorées moyennant application préalable d'une couche de fond.

Travaux préparatoires / contrôles de qualité

La surface en béton sera débarrassée des particules de poussière et contrôlée visuellement.

L'humidité de support du béton doit être déterminée avant les travaux de collage. Celle-ci doit être inférieure à 4 %. Immédiatement avant l'application, on déterminera la température du point de rosée, de l'air et de l'environnement ainsi que l'humidité relative de l'air. Si l'écart par rapport au point de rosée est inférieur à 3 °C, il convient de réchauffer le support ou d'abaisser l'humidité relative de l'air.

Nettoyage / préparation des Lamelles S&P CFK

Nettoyer les lamelles à l'aide d'un chiffon blanc imbibé de produit de nettoyage à base de solvant. Outre les impuretés en général, on éliminera ainsi également la poussière de carbone. Le nettoyage doit s'effectuer jusqu'à ce que le chiffon blanc ne comporte plus la moindre trace noire de carbone.

Mélange de la colle à base de résine (S&P RESIN 220)

On respectera les instructions de la fiche technique S&P.

Produit	D.P.U.			Humidité du support	Application
	10° C	20° C	30° C		
colle epoxy S&P RESIN 220	~ 100 min.	~ 60 min.	~ 45 min.	< 4 %	Températures > 10 °C et < 30 °C

Application de la colle

La lamelle en fibres de carbone soigneusement nettoyée et complètement sèche est enduite de colle époxy S&P RESIN 220 à l'aide d'une spatule pour les petites longueurs ou à l'aide de la boîte d'encollage

spécifique « S&P Tire-colle ». La lamelle S&P CFK en fibres de carbone est ensuite appliquée par simple encollage sur le support hors poussière.

Collage des S&P Lamelles S&P CFK sur le béton

La lamelle en fibres de carbone est fixée sur la surface en béton avec une légère pression de la main. Grâce à la très bonne stabilité de la colle époxy S&P RESIN 220, il n'est pas nécessaire d'utiliser des accessoires de calage. La lamelle S&P CFK en fibres de carbone est ensuite pressée de telle sorte que de la colle fraîche ressorte des deux côtés de celle-ci. On a ainsi l'assurance que la colle a été appliquée sans qu'il subsiste le moindre vide. La colle qui a débordé peut être éliminée à l'aide d'une spatule. L'épaisseur de la couche de colle sera de 2 mm en moyenne (minimum 1 mm – maximum 3 mm). D'éventuels restes de colle à la surface des lamelles peuvent être éliminés avec le produit de nettoyage à base de solvant (acétone ou MEK) tant que la colle n'a pas durci. D'autres Lamelles S&P CFK peuvent être collées parallèlement en respectant un écartement minimum de 5 mm.

En cas d'application ultérieure d'un revêtement de protection sur les lamelles ; on procédera à l'application sur la lamelle d'une couche de S&P RESIN 220 ou S&P RESIN 55 à l'aide d'une spatule ou d'une brosse ; et frais sur frais on procédera à une projection de sable de quartz propre, sec et calibré.

Contrôles de qualité

Pendant les travaux de collage et jusqu'à durcissement de la colle époxy S&P RESIN 220 on évitera les vibrations dans le rayon d'action de l'armature collée. Après la phase de durcissement, on vérifiera l'absence de vides sous les lamelles par martelage. On vérifiera en outre la planéité de la surface des lamelles. En l'occurrence, l'écart de planéité sur une distance de 30 cm ne doit pas excéder 1 mm, resp. 5 mm sur une distance de 2 m.

7.2 Tissus S&P C-SHEET

Support

Un support sain est indispensable pour réaliser un renforcement avec des S&P C-SHEET. Avec un ancien béton, le support doit présenter une contrainte d'adhérence de traction d'au moins 1.0 N/mm². Cette valeur peut être augmentée suivant les résultats des essais jusqu'à un maximum de 3 N/mm². Les ragréages pelliculaires sont éliminés. La rugosité superficielle moyenne optimale sera de 0.5 – 1.0 mm. Les méthodes de préparation idéales sont le sablage, le grenailage ou le ponçage. On évitera en l'occurrence tout apport d'humidité. On éliminera également toutes les substances étrangères telles que saleté, huiles et graisses. Immédiatement avant l'application de la colle à base de résine époxy, la surface sera débarrassée des particules libres à la brosse ou à l'aspirateur pour que le support soit hors poussière.

Point particulier de préparation du support

Les angles et arêtes (renfort cisaillement des poutres ; enrobage de poteaux de section carré ou rectangulaire) seront arrondies avec un rayon minimum de 2.5 cm. Pour envelopper des poteaux, on préférera un rayon de 3.5 cm.

Injection de fissures

Les fissures existantes seront traitées avec la résine d'injection conforme à la NF EN 1504-5.

Imprégnation du stratifié S&P C- SHEET

Comme résine d'imprégnation, on utilisera la S&P RESICEM (supports humides), resp. la S&P RESIN 55 (supports secs).

	S&P RESICEM perméable à la vapeur (supports humides)	S&P RESIN 55 étanche à la vapeur (supports secs)
S&P C-SHEET S&P 240	X	(X)
S&P C-SHEET S&P 640		X

Application de la résine pour stratifié S&P RESICEM / S&P RESIN 55

Méthode 1 – Application par voie sèche :

Sur le support, la S&P RESICEM / S&P RESIN 55 est appliquée de manière égale avec un pinceau ou un rouleau. Le S&P C-SHEET est ensuite appliqué à l'élément et la feuille de protection est dégagée. La S&P C-SHEET est marouflée avec une spatule en caoutchouc dur ou un rouleau lamineur spécial dans la résine S&P RESICEM / S&P RESIN 55. Le rouleau ou la spatule est tiré exclusivement dans le sens des fibres jusqu'à ce

que toutes les fibres soient parfaitement humidifiées et intégrées dans la colle. Aucune inclusion d'air ne doit être présente.

Méthode 2 – Application par voie humide :

Le tissu est pré-imprégné de résine S&P RESICEM / S&P RESIN 55 avant d'être appliqué sur le support. Pour les grandes surfaces, une machine « Encolleuse à tissus S&P » peut être utilisée.

Sur le support, la S&P RESICEM / S&P RESIN 55 est appliquée de manière égale avec un pinceau ou un rouleau en une couche très mince. Le tissu pré-imprégné est déroulé et marouflé comme pour le tissu appliqué en voie sèche.

Le bon enrobage du S&P C-SHEET peut être vérifié visuellement sans problème.

En cas d'application ultérieure d'un revêtement de protection, un saupoudrage de sable de quartz propre, sec et calibré, doit être effectué sur la colle encore fraîche.

Recouvrement / fixation du S&P C-SHEET

On respectera les longueurs minimales suivantes :

Produit	Recouvrement dans le sens des fibres	Transversalement au sens des fibres
S&P C-SHEET S&P 240	150 mm	-
S&P C-SHEET S&P 640	150 mm	-

Contrôles de qualité

Pendant les travaux de collage et jusqu'à durcissement, on évitera les vibrations dans le rayon d'action du renforcement FRP.

Point particulier pour les renforts au cisaillement de poutres :

Pour le renforcement à l'effort tranchant des poutres, il convient de bloquer si besoin le renfort carbone S&P C-SHEET 240 ou 640 à l'aide d'un serre joint par exemple pour éviter l'ouverture de l'élément avant durcissement de la colle S&P RESIN 55.

8. Protection des éléments de renfort

8.1 Revêtements de protection

Dans tous les cas, les revêtements de protection doivent être appliqués sur une couche de colle époxy sablée.

Les Lamelles S&P CFK et les Tissus S&P C-SHEET peuvent recevoir en finition, des revêtements destinés à un usage de protection (feu, température, mécanique...) ou à caractère esthétique.

Les lamelles S&P CFK et les tissus S&P C-SHEET peuvent recevoir un revêtement de protection tels que : mortier époxydique, hydraulique, à base de plâtre...

8.2 Protection au feu

Les procédés de renforcement du béton, par collage de renforts (métal ou composite) ne présentent pas en l'état, de résistance particulière au feu.

Lorsque la stabilité au feu de la structure renforcée peut être justifiée selon la NF EN 1992-1-2 en prenant en compte les aciers existants, aucune disposition de protection des renforts n'est à prévoir. (Coefficient de sécurité égal à 1 en situation accidentelle)

Dans le cas contraire, une protection au feu devra être rapportée sur les lamelles S&P CFK.

Cette protection (dont la performance et les caractéristiques selon les possibilités de mise en œuvre seront appréciées) sera justifiée, afin que la température selon la durée d'exposition spécifiée, ne dépasse pas 60°C dans le plan du collage.

La protection utilisée devra bénéficier d'un PV de résistance au feu d'un laboratoire agréé sur support identique.

En cas d'application d'un flocage appliqué directement sur les lamelles S&P CFK, la surface des lamelles devra être parfaitement dégraissée et recevoir une couche de liaison (couche de S&P Resin 220 ou S&P RESIN 55 sablée).

8.3 Protection à la température (en service)

Le procédé de renfort FRP S&P admet des températures au niveau du collage en service continu et en pointe telles qu'indiquées au paragraphe 2.4.

Le procédé de renfort FRP S&P sera protégé de l'exposition directe du rayonnement solaire par un revêtement.

9. Sécurité du travail

Allergies

Les résines époxy peuvent provoquer des irritations de la peau. Par conséquent, nous recommandons l'utilisation des équipements de protection individuels adaptés (EPI).

Repas et travail

- Ne jamais prendre de repas pendant le travail.
- Les mains doivent être lavées soigneusement après achèvement des travaux.

Ponçage de S&P CFK

Les poussières fines qui se produisent en ponçant et en sciant sont dangereuses pour la santé.

Par conséquent, nous recommandons l'utilisation des équipements de protection individuels adaptés (EPI).

Dégagement des déchets des résines époxy

Les résidus non durcis sont à évacuer en décharge adaptée.

Consulter la fiche de données de Sécurité pour l'élimination des produits et de leurs emballages ; de manière générale, consulter les Fiches Techniques des produits et leurs Fiches de données de Sécurité avant toute application.

B. Annexe

Documents de contrôle sur chantiers

Annexe 1 Essais d'adhérence

Annexe 2 Procès-verbal des mesures

Annexe 3 Tableau des points de rosée

Annexe 4 Ancrages métalliques











Annexe 1

Essais d'adhérence

Sujet: _____	No. de projet: _____
Adresse: _____	Date: _____
Lieu: _____	Personne compétente: _____
Section de construction: _____	Tel.: _____

Elément: _____	collé le: _____
Colle: _____	Température: _____ °C de l'élément
Préconditionnement: _____	
Diamètre des rondelles: 50 mm	Surface d'adhérence Ao: 1962.5 mm²

Appareil d'essai d'adhérence:

Eprouvette No.	Effort de tension F [kN]	Résistance d'adhérence F HZ [N/mm ²]	Croquis de rupture	B:	Béton
				C:	Colle
				FRP:	Lamelle, SHEET, etc.
1			 Rupture: _____		
2			 Rupture: _____		
3			 Rupture: _____		
4			 Rupture: _____		
5			 Rupture: _____		
6			 Rupture: _____		
7			 Rupture: _____		
8			 Rupture: _____		
9			 Rupture: _____		
10			 Rupture: _____		

Tampon, Signature:

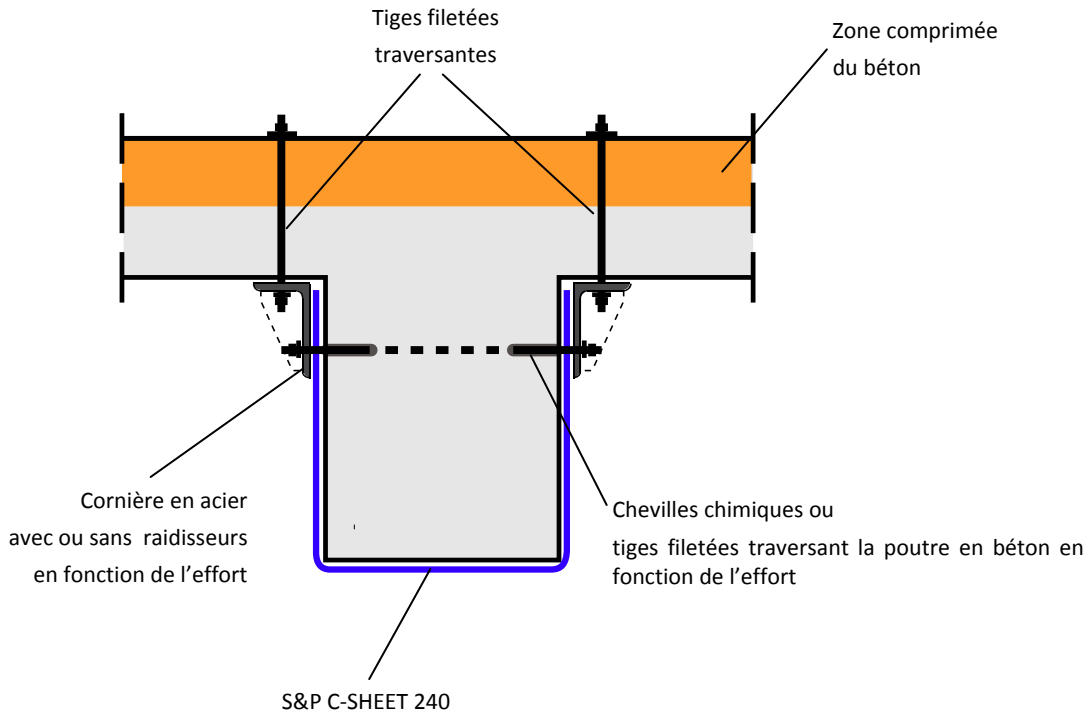
Tableau des points de rosée

Température ambiante [°C]	Température du point de rosée (°C) pour une humidité ambiante de										
	45%	50%	55%	60%	65%	70%	75%	80%	85%	90%	95%
2	-7.77	-6.56	-5.43	-4.40	-3.16	-2.48	-1.77	-0.98	-0.26	0.47	1.20
4	-6.11	-4.88	-3.69	-2.61	-1.79	-0.88	-0.09	0.78	1.62	2.44	3.20
6	-4.49	-3.07	-2.10	-1.05	-0.08	0.85	1.86	2.72	3.62	4.48	5.38
8	-2.69	-1.61	-0.44	0.67	1.80	2.83	3.82	4.77	5.66	6.48	7.32
10	-1.26	0.02	1.31	2.53	3.74	4.79	5.82	6.79	7.65	8.45	9.31
12	0.35	1.84	3.19	4.46	5.63	6.74	7.75	8.69	9.60	10.48	11.33
14	2.20	3.76	5.10	6.40	7.58	8.67	9.70	10.71	11.64	12.55	13.36
15	3.12	4.65	6.07	7.36	8.52	9.63	10.70	11.69	12.62	13.52	14.42
16	4.07	5.59	6.98	8.29	9.47	10.61	11.68	12.66	13.63	14.58	15.54
17	5.00	6.48	7.92	9.18	10.39	11.48	12.54	13.57	14.50	15.36	16.19
18	5.90	7.43	8.83	10.12	11.33	12.44	13.48	14.56	15.41	16.31	17.25
19	6.8	8.33	9.75	11.09	12.26	13.37	14.49	15.47	16.40	17.37	18.22
20	7.73	9.30	10.72	12.00	13.22	14.40	15.48	16.46	17.44	18.36	19.18
21	8.60	10.22	11.59	12.92	14.21	15.36	16.40	17.44	18.41	19.27	20.19
22	9.54	11.16	12.52	13.89	15.19	16.27	17.41	18.42	19.39	20.28	21.22
23	10.44	12.02	13.47	14.87	16.04	17.29	18.37	19.37	20.37	21.34	22.23
24	11.34	12.93	14.44	15.73	17.06	18.21	19.22	20.33	21.37	22.32	23.18
25	12.20	13.83	15.37	16.69	17.99	19.11	20.24	21.35	22.27	23.30	24.22
26	13.15	14.84	16.26	17.67	18.90	20.09	21.29	22.32	23.32	24.31	25.16
27	14.08	15.68	17.24	18.57	19.83	21.11	22.23	23.31	24.32	25.22	26.10
28	14.96	16.61	18.14	19.38	20.86	22.07	23.18	24.28	25.25	26.20	27.18
29	15.85	17.58	19.04	20.48	21.83	22.97	24.20	25.23	26.21	27.26	28.18
30	16.79	18.44	19.96	21.44	23.71	23.94	25.11	26.10	27.21	28.19	29.09
32	18.62	20.28	21.90	23.26	24.65	25.79	27.08	28.24	29.23	30.16	31.17
34	20.42	22.19	23.77	25.19	26.54	27.85	28.94	30.09	31.19	32.13	33.11
36	22.23	24.08	25.50	27.00	28.41	29.65	30.88	31.97	33.05	34.23	35.06
38	23.97	25.74	27.44	28.87	30.31	31.62	32.78	33.96	35.01	36.05	37.03
40	25.79	27.66	29.22	30.81	32.16	33.48	34.69	35.86	36.98	38.05	39.11
45	30.29	32.17	33.86	35.38	36.85	38.24	39.54	40.74	41.87	42.97	44.03
50	34.76	36.63	38.46	40.09	41.58	42.99	44.33	45.55	46.75	47.90	48.98

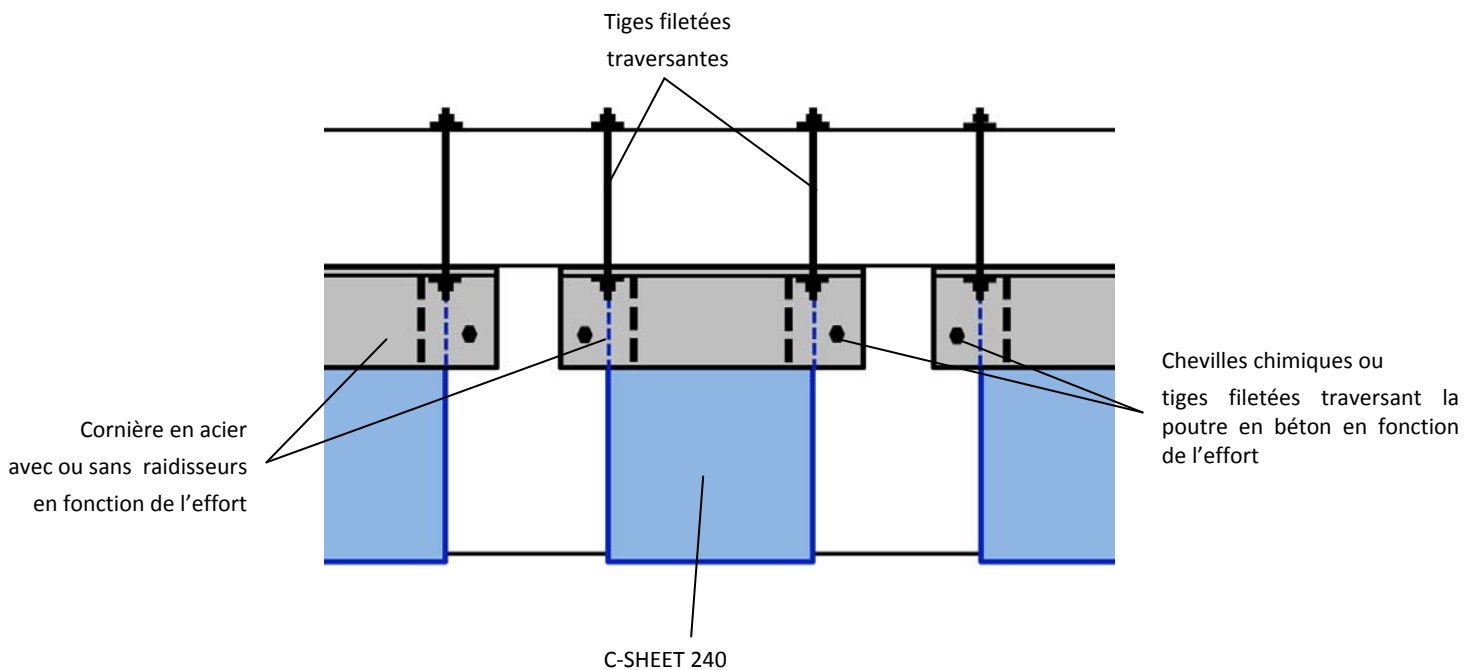
Le tableau indique, en fonction de la température de l'air et de l'humidité de l'air relative, à quelles températures de surface une condensation apparaît. Ainsi, p. ex. une température de l'air de 20 °C et d'une humidité de l'air relative de 70 %, une condensation apparaîtra sur des surfaces non absorbantes pour des températures de surface sous 14.4 °C.

A-Principe de construction

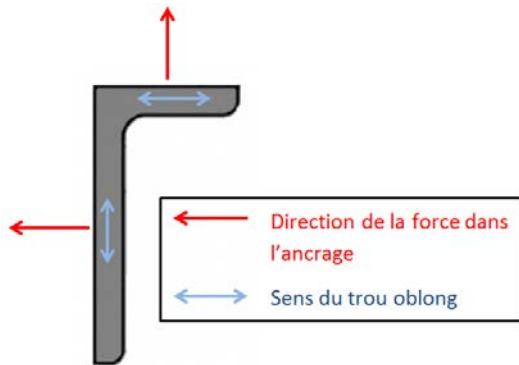
COUPE TYPE



VUE LATÉRALE



DETAIL PERCEMENTS CORNIERE



B-Principe de dimensionnement

Les tiges filetées verticales reprennent les efforts du tissu.

Les chevilles ou tiges filetées horizontales reprennent le moment d'excentricité.

$$F_1 = F_d$$

$$M_e = F_d \times e_1$$

$$F_2 = \frac{M_e}{e_2}$$

avec

F_d Effort du tissu

F_1, F_2 Effort des chevilles

ou des tiges filetées

F_c, σ_c compression du béton

M_e moment d'excentricité

