

Sur le procédé

Procédé ROCC+p®

Famille de produit/Procédé : Renforcement d'éléments de structure par collage de tissus verre et/ou carbone avec une matrice polymère

Titulaire(s) : Société GTM SUD

AVANT-PROPOS

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

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

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

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

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

Versions du document

Version	Description	Rapporteur	Président
V2	<p>Cette version, examinée le 18 avril 2024, intègre les modifications suivantes :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Mise à jour des performances mécaniques des composites - Ajout de l'utilisation en situation sismique 	Loïc PAYET	Roseline BERNARDIN-EZLAN

Descripteur :

Le procédé ROCC+p® permet de renforcer les structures neuves ou anciennes en béton armé et béton précontraint par collage d'armatures composite à base de tissu de fibres unidirectionnelles, jouant le rôle de complément d'armatures ou de confinement structurel.

Le procédé est utilisé pour le renforcement à la traction, à la flexion et à l'effort tranchant. Il est également utilisé pour le confinement d'élément de structure.

Le procédé ROCC+p® se compose de la combinaison d'un tissu unidirectionnel de fibres, noyées dans une matrice de résine synthétique. Il a l'avantage de présenter des caractéristiques mécaniques aussi bonnes que l'acier sinon meilleures et, une bonne tenue à la corrosion. Le composite est très léger, ce qui facilite sa mise en œuvre et réduit la durée des travaux.

L'utilisation du procédé dans des bâtiments nécessitant des dispositions parasismiques conformément à l'arrêté du 22 octobre 2010 modifié, est visée. En zone sismique, le domaine d'emploi concerne le renforcement des voiles, des poteaux, et des nœuds voiles/poutres et nœuds de poteaux/poutres. Seuls les éléments en béton armé peuvent être renforcés en situation sismique ; le renforcement d'éléments en béton précontraint en situation sismique sont donc exclues du domaine d'emploi.

Table des matières

1.	Avis du Groupe Spécialisé	5
1.1.	Domaine d'emploi accepté.....	5
1.1.1.	Zone géographique.....	5
1.1.2.	Ouvrages visés	5
1.2.	Appréciation	5
1.2.1.	Aptitude à l'emploi du procédé	5
1.2.2.	Durabilité	6
1.2.3.	Finitions.	6
1.2.4.	Impacts environnementaux	6
1.3.	Remarques complémentaires du Groupe Spécialisé	6
2.	Dossier Technique.....	8
2.1.	Mode de commercialisation	8
2.1.1.	Coordonnées	8
2.1.2.	Identification	8
2.2.	Description.....	8
2.2.1.	Principe.....	8
2.2.2.	Caractéristiques des composants.....	8
2.2.3.	Les mèches	11
2.2.4.	Contrainte d'adhérence de cisaillement admissible.....	11
2.3.	Disposition de conception.....	12
2.3.1.	Généralités.....	12
2.3.2.	Références bibliographiques	12
2.3.3.	Notations	12
2.3.4.	Modélisation du comportement des matériaux.....	13
2.3.5.	Justification à la rupture.....	14
2.3.6.	Dimensionnement en flexion.....	15
2.3.7.	Dimensionnement à l'effort tranchant	21
2.3.8.	Critères de résistance du collage	24
2.3.9.	Confinement des poteaux en béton.....	26
2.3.10.	Renforcement parasismique des structures en béton armé	28
2.4.	Dispositions constructives générales, particulières.....	34
2.4.1.	Introduction.....	34
2.4.2.	Configuration courante de renforcement.....	34
2.4.3.	Règles constructives générales.....	35
2.4.4.	Les ancrages par mèche ROCC+P®	37
2.5.	Disposition de mise en œuvre	39
2.5.1.	Diagnostic de la structure	39
2.5.2.	Conditions d'acceptation du support	40
2.5.3.	Travaux préparatoires.....	40
2.5.4.	Mise en œuvre du renfort composite ROCC+p®	41
2.5.5.	Éléments complémentaires	42
2.5.6.	Contrôles lors de la mise en œuvre.....	42
2.6.	Assistance technique	43
2.7.	Principes de fabrication et de contrôle de cette fabrication.....	43
2.7.1.	Contrôles de fabrication	43
2.7.2.	Identification du produit	43

2.8.	Mention des justificatifs	43
2.8.1.	Résultats Expérimentaux.....	43
2.8.2.	Références chantiers.....	44
2.9.	Annexe du Dossier Technique	45

1 Avis du Groupe Spécialisé

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

1.1 Domaine d'emploi accepté

1.1.1 Zone géographique

L'Avis est émis pour les utilisations en France métropolitaine. L'utilisation du procédé dans des bâtiments nécessitant des dispositions parasismiques conformément à l'arrêté du 22 octobre 2010 modifié, est visée.

1.1.2 Ouvrages visés

Le domaine d'emploi accepté par le Groupe Spécialisé n°3.3 est celui couvrant les éléments en béton armé entrant dans la constitution des bâtiments courants (habitations, bureaux, etc.) et des bâtiments industriels (supermarchés, entrepôts, etc.). Les éléments renforcés par le procédé sont :

- En béton armé ;
- En béton précontraint ;

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.

Le procédé ROCC+p® n'est utilisé que pour le renforcement en flexion, traction, effort tranchant et confinement des poteaux. Dans le cas d'une poutre renforcée à la flexion et à l'effort tranchant, la section de poutre prise en compte pour le dimensionnement doit être la même que celle prise pour le dimensionnement à l'effort tranchant.

En l'absence d'utilisation des mèches d'ancrage dans la hauteur comprimée de la poutre, la contribution du renforcement composite pour les vérifications vis-à-vis de l'effort tranchant ($V_{Rd,f}$) doit 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 à l'effort tranchant sans ceinturage complet n'est pas admis dans le cas d'un moment négatif sur l'appui considéré.

Le renforcement des poutres en I n'est pas visé par cet Avis Technique.

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

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

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

Les utilisations autres que celles prévues au présent domaine d'emploi, notamment les renforcements d'éléments constitués de matériaux autres que le béton (maçonnerie, bois, etc...), 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 42°C en continu et 54°C en pointe (pendant 24 heures).

Compte tenu du caractère accidentel de l'action sismique, l'utilisation du procédé en zones sismiques 1 à 4 au sens de l'arrêté du 22 Octobre 2010 modifié est autorisée dans les limites du respect des prescriptions données dans le paragraphe 2.3 ci-après (Prescriptions Techniques). En zone sismique, le domaine d'emploi concerne le renforcement des voiles, des poteaux, et des nœuds voiles/poutres et nœuds de poteaux/poutres. Seuls les éléments en béton armé peuvent être renforcés en situation sismique ; le renforcement d'éléments en béton précontraint en situation sismique est donc exclu du domaine d'emploi.

1.2 Appréciation

1.2.1 Aptitude à l'emploi du procédé

1.2.1.1 Stabilité

L'examen des performances de durabilité du complexe tissu-résine, au travers des essais de fluage effectués par le demandeur, permet de conclure que le 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 au §2.3 du présent Avis.

1.2.1.2 Pose en situation sismique

L'utilisation du procédé de renforcement en zones sismiques 1 à 4 au sens de l'arrêté du 22 octobre 2010 modifié est possible moyennant le respect des dispositions prévues dans le présent et avis et au 2.2.10 du Dossier Technique.

1.2.1.3 Sécurité au feu

1.2.1.3.1 Réaction au feu

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

1.2.1.3.2 Résistance au feu

En ce qui concerne la résistance au feu, le procédé ROCC+P® ne participe pas à la tenue des éléments renforcés.

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

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

Pour la manipulation de la colle et son application, il y a lieu de respecter les prescriptions du Code du travail concernant les mesures de protection relatives à l'utilisation des produits contenant des solvants, utilisés pour le nettoyage des outils. 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.

1.2.2 Durabilité

La durabilité des éléments renforcés est normalement assurée dans le domaine d'emploi accepté. Comme précisé à l'article 1.1.2, cet Avis ne vise pas les utilisations en locaux (ou ambiances) suivants :

- Atmosphère agressive (type solvant) ;
- Lorsque la température est susceptible de dépasser la valeur de pointe indiquée dans le paragraphe §1.1.2 du dossier technique établie par le demandeur (valeur de pointe : valeur dont la durée de maintien est inférieure à 24 heures) pour la résine utilisée.

En effet, pour le premier cas, la stabilité des caractéristiques mécaniques de la colle n'est pas démontrée. Pour la seconde restriction, la température de transition vitreuse de la résine ne permet pas de dépasser une température en pointe indiquée au §1.1.2.

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

1.2.3 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 du ROCC+p®.

Dans le cas d'une utilisation du procédé de renforcement en face supérieure des dalles, le système de renforcement doit être protégé par un mortier (cf. 2.5.5).

1.2.4 Impacts environnementaux

1.2.4.1 Données environnementales

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

1.2.4.2 Aspects sanitaires

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

1.3 Remarques complémentaires du Groupe Spécialisé

Le Groupe Spécialisé n°3.3 a fixé une limite de température jusqu'à 42 °C en service continu et 54 °C en pointe (pendant 24 heures) en situation accidentelle. Ces valeurs ont été définies en fonction de la température de transition vitreuse de la résine. L'acceptation d'une valeur de contrainte de traction admissible à l'ELU du composite ROCC+p® déterminée à partir d'un coefficient α de 0,775 au lieu de 0,65 (règles AFGC de 2011) s'est appuyée sur la réalisation d'essais de durabilité sur le procédé.

Il est souligné que le renforcement structural d'un ouvrage existant quelle que soit la technique de renforcement utilisée, doit faire suite à un diagnostic préalable de qualification de cet ouvrage (détermination des capacités résistantes). Un tel diagnostic peut se révéler lourd et imprécis, étant notamment fonction de la qualité des matériaux, des dispositions internes souvent non accessibles (armatures, par exemple) et d'une manière générale de « l'histoire » de l'ouvrage. L'attention du Maître d'œuvre est donc attirée sur la nécessité qu'il y a à faire effectuer un diagnostic aussi précis que possible, permettant de dimensionner et de mettre en œuvre les renforcements de manière pertinente. Dans ce sens, le Groupe attire l'attention sur le fait que le procédé ROCC+p® peut assurer le renforcement local des éléments sous sollicitations sismiques, sous réserve du respect des prescriptions techniques et dans les limites décrites dans l'Avis, mais ne dispense pas d'apporter une justification du comportement global de la structure de l'ouvrage sous sollicitation sismique.

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

De plus, il est précisé que l'entreprise GTM chargée de la mise en œuvre du procédé doit 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.

Les revêtements de protection décrits dans le Dossier Technique ne permettent pas de se dispenser du respect du domaine d'emploi accepté.

2 Dossier Technique

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

2.1 Mode de commercialisation

Le procédé ROCC+p® est propriété de l'entreprise GTM SUD.

2.1.1 Coordonnées

Le procédé est commercialisé par le titulaire du présent avis technique.

Titulaire : GTM Sud
 111 avenue de la Jarre
 13008 Marseille
 Tél : 04 91 76 76 76
 Fax : 04 91 76 76 77

2.1.2 Identification

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

- Pour ce qui concerne la résine époxy bi-composant sa référence commerciale est ROCC+p® : Elle est en kit prédosé résine + durcisseur et est disponible en kit de « 25 + 11 », « 10 + 4,4 » et « 5 + 2,2 ».
- Pour ce qui concerne le tissu, il est livré en rouleaux de longueur 50 à 100 mètres et en ruban de largeur standard 50, 150 ou 300 mm

2.2 Description

2.2.1 Principe

Le procédé ROCC+p® permet de renforcer les structures neuves ou anciennes en béton armé et béton précontraint par collage d'armatures composite à base de tissu de fibres unidirectionnelles, jouant le rôle de complément d'armatures ou de confinement structurel.

Le procédé est utilisé pour le renforcement à la traction, à la flexion et à l'effort tranchant. Il est également utilisé pour le confinement d'élément de structure.

Le procédé ROCC+p® se compose de la combinaison d'un tissu unidirectionnel de fibres, noyées dans une matrice de résine synthétique. Il a l'avantage de présenter des caractéristiques mécaniques aussi bonnes que l'acier sinon meilleures et, une bonne tenue à la corrosion. Le composite est très léger, ce qui facilite sa mise en œuvre et réduit la durée des travaux.

2.2.2 Caractéristiques des composants

Le composite utilisé par le procédé ROCC+p® se compose d'une part, d'un tissu à base de fibres de carbone unidirectionnelles et d'autre part, d'une résine époxydique.

2.2.2.1 Le tissu : ruban carbone ROCC+pT unidirectionnel 600 gr/m²

2.2.2.1.1 Description

Le tissu ROCC+pT est un ruban unidirectionnel (0°) assemblé par « tissage toile ». Il est constitué de fils de fibre de carbone assemblés à l'aide de fils de trame thermoplastiques blancs. Les fibres ont un ensimage qui favorise la liaison chimique avec la matrice. Ainsi le tissu ROCC+pT ne s'effiloche pas, ni au transport ni lors de la découpe. Le sens de résistance privilégié est le sens longitudinal. Dans le cas de renforts bidirectionnels les bandes de tissu seront croisées.

2.2.2.1.2 Conditionnement

Le tissu de fibres est livré en rouleau. Il peut être découpé sur chantier à la longueur désirée, à l'aide d'une règle et d'un cutter.

Le ruban est constitué de fils constitués de 24 000 filaments chacun.

Les différentes dimensions du ruban sont présentées ci-dessous :

- Largeur : 15 cm ± 3 %, 30 cm ± 2 % ou 58 cm ± 0,8 %
- Longueur : 100 m / ± 20 m

2.2.2.1.3 Conservation

Le tissu doit être conservé à l'abri de l'humidité dans un local aéré. Dans de telles conditions, le tissu stocké correctement n'a pas de date limite d'utilisation.

Tableau 1 : Caractéristiques du tissu de fibres de carbone ROCC+pT

	Ruban Carbone UD 24 K 1600 tex
Nature des fibres	Carbone
Couleur	Noire
Densité linéique des fibres	1600 Tex
Nombre de filament par fil	24 K HS
Orientation des fibres	100 % sens longitudinal (0°)
Type de fibres	UTS50 24K F24
Epaisseur théorique	0,337 mm
Masse surfacique	600 (±5 %) g/m ²
Résistance à la rupture par traction	5 100 MPa
Allongement à rupture	2 %
Module d'élasticité longitudinal	245 000 MPa

2.2.2.2 La résine : ROCC+PR

2.2.2.2.1 Description

Cette résine s'obtient en mélangeant deux composants sans solvant. Le premier composant est la base de couleur blanche, le deuxième composant est le durcisseur de couleur jaune pâle. Les deux composants de la résine se présente sous la forme d'un kit pré dosé (résine + durcisseur). Le format des kits est « 25 + 11 kg » ou de « 10 + 4,4 » de « 5 + 2,2 ».

La résine sert à la fois de matrice pour le composite et de colle dans la liaison entre le support à renforcer et le composite.

La consommation moyenne de résine est de 350 g/m² pour l'imprégnation du béton et de 750 g/m² pour l'imprégnation du tissu de fibres.

Le stockage doit être fait dans les conteneurs originaux à des températures de 2 à 40 °C à l'écart des aliments et boissons y compris ceux pour animaux.

Une date de péremption de la résine est étiquetée sur chaque pot.

Les conditions d'utilisation sont décrites au paragraphe 2.5.4 du présent document.

Tableau 2 : Caractéristiques de la résine époxydique

	Unité	Nominal
Résine ROCC+p RB		
Aspect visuel	Liquide blanc	
Viscosité Brookfield à 23°C	mPa.s	6500 - 9000
Densité à 23°C	g/cm ³	1,15-1,2
Point éclair	°C	> 100
Température de stockage	°C	2 - 40
Durcisseur ROCC+p RD		
Aspect visuel	Liquide jaune pâle	
Viscosité Brookfield à 23°C	mPa.s	600-1200
Densité à 23°C	g/cm ³	0,9 - 1,0
Point éclair	°C	> 100
Température de stockage		2 - 40
Caractéristiques de la résine époxydique ROCC+pR		
Viscosité	m.Pa.s	2300 – 2800
Pot life à 25 °C	min	70 – 90
Température de transition vitreuse	°C	60°C

2.2.2.2.2 Hygiène et sécurité

La résine peut engendrer des irritations de la peau et des muqueuses. De plus c'est un produit inflammable. (Voir §2.5.5)

2.2.2.3 Le composite**2.2.2.3.1 Propriétés mécaniques**

Le composite ROCC+p® consiste en la combinaison d'un tissu unidirectionnel de fibres, noyées dans une matrice de résine. Il est réalisé sur place par imprégnation de résine du tissu de fibres.

Les valeurs du module d'élasticité et de l'allongement à la rupture sont issues d'une étude statistique. La contrainte en traction du composite est déterminée pour un niveau de confiance de 95 % et un fractile de 5 %.

Tableau 3 : Caractéristiques mécaniques du composite ROCC+P®

Tissu :	ROCC+P UD 600-C24K				
Résine :	ROCC+p R				
	Valeur moyenne	Valeur caractéristique	ELU	ELU Acc	ELS
Résistance à la traction moyenne (f_{fu})	1200 MPa	1100	-	-	-
Module d'élasticité E_f moyenne	78 GPa	74 GPa	-	-	-
Allongement à la rupture moyenne (ϵ_{fu})	1,5 %	1,4 %	-	-	-
Résistance de calcul à la traction	-		609	775	426
Allongement maximal de calcul	-	-	0,8%	1,0%	0,6%
Epaisseur conventionnelle (t_f)	-	1 mm			

Il s'agit d'une épaisseur conventionnelle de tissu en adéquation avec la valeur de contrainte. Le produit $f_{fu} \times e$ donne la résistance garantie au mètre linéaire de tissu.

Le tissu peut être appliqué en plusieurs couches superposées. Le nombre de couches est limité par la capacité d'adhérence au support

2.2.2.3.2 Influence de l'humidité

Une humidité de 4% maximum du support n'a pas d'incidence sur les caractéristiques du composite. Cependant, la fréquence des contrôles de condensation doit être augmentée lorsque l'humidité relative de l'ambiance dépasse 80%.

2.2.2.3.3 Influence de la température

La température est un facteur déterminant pour la tenue du renforcement. Néanmoins, le composite, en particulier la résine, supporte des élévations de température jusqu'à 42 °C en service continu et 54 °C en situation accidentelle. Au-delà, il faut prendre des dispositions de protection particulières (voir § 1.2.1.3.2).

2.2.2.3.4 Réaction et résistance au feu

Le procédé ROCC+p® est considéré non classé vis-à-vis de la réaction au feu.

En ce qui concerne la résistance au feu, le procédé ROCC+p® ne participe pas à la tenue des éléments renforcés dans le cas d'un incendie.

2.2.3 Les mèches

2.2.3.1 Description

Les mèches ROCC+P permettent d'ancrer les bandes de composite ROCC+P lorsque l'adhérence seul du composite n'est pas suffisante.

Les mèches ROCC+P sont conçues à partir d'une bande de fibre de carbone de 30 cm de longueur et de 5 cm de largeur. Les 15 premiers centimètres constituent l'ancrage sous forme d'un cylindre et les 15 suivants forment le fouet. Une bande de renfort transversal en tissus est mise en œuvre de manière systématique couvrant la partie fouet de la mèche d'ancrage.

L'ancrage dans le béton est réalisé avec la même colle utilisée pour le collage du composite.

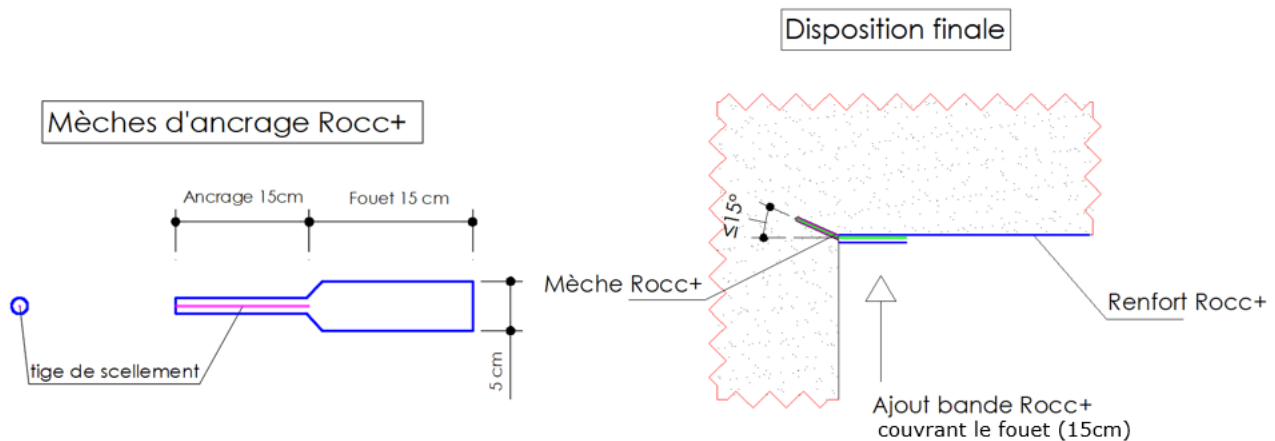


Figure 1 : Mèche ROCC+P

2.2.3.2 Propriétés mécaniques des mèches :

- Résistance caractéristique par ancrage = 26 kN
- Valeur de calcul par ancrage à l'ELU (situation courante et sismique) = 18,6 kN

2.2.4 Contrainte d'adhérence de cisaillement admissible

2.2.4.1 Adhérence sur support béton

Conformément aux recommandations de l'AFGC (Edition Février 2011), la contrainte limite de cisaillement de l'interface composite-béton ou de la colle pour le procédé ROCC+p® est déterminée à partir des résultats d'essais (voir § 2.8.2) :

Caractéristique mécanique	Valeurs [MPa]
Contrainte de cisaillement à la rupture τ_{ad}	1,6
Contrainte moyenne de cisaillement de l'interface à la limite élastique	1,0
Contrainte de cisaillement aux ELU $v_{ad,ud}$	$v_{ad,ud} = \frac{\alpha_{ad} \tau_{ad,e}}{\gamma_{ad,ELU}} = 0,64$

Contrainte de cisaillement aux ELS v_{add}	$v_{add} = \frac{\alpha_{ad}\tau_{ad,e}}{\gamma_{ad,ELS}} = 0,57$
--	---

2.2.4.2 Adhérence sur composite / composite

Conformément aux recommandations de l'AFGC (Edition Février 2011), la contrainte limite de cisaillement de l'interface composite-composite est déterminée à partir des résultats d'essais (voir § 2.8.2) :

Caractéristique mécanique	Valeurs [MPa]
Contrainte de cisaillement à la rupture τ_{fd}	21,7
Contrainte de cisaillement aux ELU $\tau_{f,ud}$	$v_{ad,ud} = \frac{\alpha_{ad}\tau_{fd}}{\gamma_{ad,ELU}} = 13,9$
Contrainte de cisaillement aux ELS $\tau_{f,dd}$	$v_{add} = \frac{\alpha_{ad}\tau_{fd}}{\gamma_{ad,ELS}} = 12,4$

2.3 Disposition de conception

2.3.1 Généralités

Les dimensionnements seront réalisés par GTM SUD Travaux Spéciaux ou sous sa direction. Le dimensionnement en situation sismique est réalisé par le bureau d'étude Vinci Structure Engineering ou sous sa direction.

Le dimensionnement du renforcement des éléments en béton précontraint par le procédé ROCC+p® est effectué selon les règles BPEL 91 (Recommandations de l'AFGC de 2003 révisées 2007) ou selon les Eurocodes (Recommandations de l'AFGC de 2011) suivant les DPM précisant le référentiel à prendre en compte.

Les méthodes utilisées sont décrites dans les paragraphes de ce chapitre. Les principes de justifications sont identiques à ceux développés dans le cas du béton armé, moyennant les recommandations décrites dans ce Dossier Technique.

Les hypothèses de dimensionnement sont les suivantes :

- Les sections droites restent planes ;
- L'adhérence entre le béton et la colle d'une part, et le composite et la colle d'autre part, est parfaite, sous réserve de ne pas dépasser un taux limite de cisaillement. Il n'y a pas de glissement entre le composite et le béton ;
- Le béton tendu est négligé.
- Le dimensionnement est étudié ici dans le cadre de renforcement de structures en béton armé ou précontraint. Une section renforcée ou réparée avec un composite fonctionne de façon similaire à une section de béton armé ou précontraint classique. Le composite se comporte en armature passive externe.

2.3.2 Références bibliographiques

- [1] NF EN 1992-1-1 et NF EN 1992-1-1-NA (ouvrages neufs)
- [2] BAEL 91 rev.99 et BPEL 91 (ouvrages existants)
- [3] « Réparation des ouvrages en béton armé par placage de matériaux composites ». E. Ferrier, P. Hamelin, L2M - Annales du BTP, juin 1998.
- [4] « Strengthening of existing concrete structures with carbon fiber fabrics or laminates: Dimensioning, materials and execution » Bjorn TALJSTEN, Swedish National Railroad and Road Codes, 1999.
- [5] « Réparation et renforcement des structures en béton au moyen des matériaux composites » - Recommandations provisoires, AFGC, février 2011.
- [6] « Renforcement parasismique des structures en béton armé par matériaux composites » - Recommandations provisoires, AFGC, juin 2015.

2.3.3 Notations

Renforcement en flexion et à l'effort tranchant

CARC	Chargé d'Application de Renforcement par Composites
A_s, A_f	Sections d'acier, de composite
d	Distance entre les aciers et la fibre supérieure de la poutre
b	Largeur de la section de poutre
w_f	Largeur du renfort composite en flexion
d'	Épaisseur d'enrobage
E_{ad}, E_f	module d'élasticité de la résine, du composite
e_{ad}, e_f	Épaisseur de la résine et du composite
$\varepsilon_f, \varepsilon_s, \varepsilon_c$	Déformations dans la section
$\varepsilon_{fu} / \gamma_f$	Allongement limite du composite

F_s et F_f	Effort normal dans les aciers et le carbone
γ_f , γ_{s1} , γ_c	Coefficient de sécurité
h	Hauteur de la poutre
I_t	Inertie de la section fissurée
l_{anc}	Longueur d'ancrage
$l_{étriers}$	Distance entre étriers
w_f	Largeur des bandes de composite en renfort à l'effort tranchant
η	Coefficient d'équivalence (E_f/E_c)
σ_{cu}	Résistance ultime du composite en traction
s_c	Espacement des bandes de composite en renfort à l'effort tranchant
τ_u	Taux de cisaillement
τ_s/int , τ_u/int	Taux de cisaillement dans l'interface à l'ELS et à l'ELU
τ_{adm}	Taux de cisaillement admissible
V_b , V_a , V_c	Effort tranchant reprise par le béton, les aciers et le composite
$V_{Ed,s}$	Effort tranchant dans la section à l'ELS
$V_{Ed,u}$	Effort tranchant dans la section à l'ELU
Y_f	Distance entre le composite et l'axe neutre
y_u	Position de l'axe neutre de la section étudiée
Z_s , Z_f	bras de levier des aciers (du composite) par rapport au béton

Compression des poteaux

$f_{cd,c}$:	Résistance de calcul en compression du béton confiné,
f_{cd} :	Résistance de calcul en compression du béton
ρ_l :	Taux de ferrailage longitudinal ($\frac{A_s}{A_c}$)
α :	Coefficient d'efficacité du confinement. $\alpha=3,45$, pour $f_{ck} \leq 60$ MPa
k_c et k_h :	Coefficients minorateurs respectivement de géométrie et de discontinuité
ψ_f :	Coefficient de performance fonction de la forme de la section du poteau. En l'absence de toute autre justification, il est donné par : <ul style="list-style-type: none"> $\psi_f=0,8$ pour une section circulaire ou elliptique. $\psi_f = 0,6$ pour une section rectangulaire (avec R tel que $R \leq 35$ mm)
E_f	Module d'élasticité de traction du composite, t_f son épaisseur, b et D respectivement le grand coté pour un poteau de section rectangulaire et le diamètre pour une section circulaire, et n_p nombre de couches de composite.
ε_{fud}	Déformation à rupture du composite
w_f	Largeur des renforts composites
s_f	Espacement des renforts composites
β	angle d'inclinaison des renforts composite.
E_p	Module de confinement évalué à $E_p = \frac{2t_f n_p}{D} E_f$ pour une section circulaire et $E_p = \frac{2t_f n_p}{b} E_f$ pour une section rectangulaire.

2.3.4 Modélisation du comportement des matériaux

Le comportement des composites renforcés par des fibres unidirectionnelles est étudié dans le sens des fibres. Il est quasi-élastique et la rupture est fragile. Étant donné qu'aucun signe de faiblesse n'apparaîtra avant la rupture, le coefficient de sécurité est par conséquent plus élevé que pour un matériau ductile comme l'acier.

Composites :

$$f_{fud} = \alpha_f \cdot \frac{f_{fu}}{\gamma_{fd}}$$

Avec :

- f_{fu} est la valeur de la résistance moyenne à la traction du composite (cf. Tableau 3)
- α_f = Les essais de vieillissement réalisés sur le procédé ROCC+p® permettent d'utiliser d'un coefficient α_f égal à 0,775 au lieu de 0,65 demandé par les règles de l'AFGC de 2011)
- γ_{fd} est égal à
 - ELS : 2
 - ELU : 1,4

- o ELU accidentel : $\gamma_{fd}=1,1$

Les valeurs de résistance en traction de calcul, déterminées à l'aide de la formule ci-dessous, sont présentées au §2.2.2.3.1
 Le coefficient d'équivalence n_f est le rapport des modules du composite et du béton : $n = E_f/E_c$

Béton : $f_{cd} = \alpha_{cc} \cdot \frac{f_{ck}}{\gamma_c}$ ($\alpha_{cc}=1$)

Aciers : $f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_s}$ ($\gamma_s=1,15$)

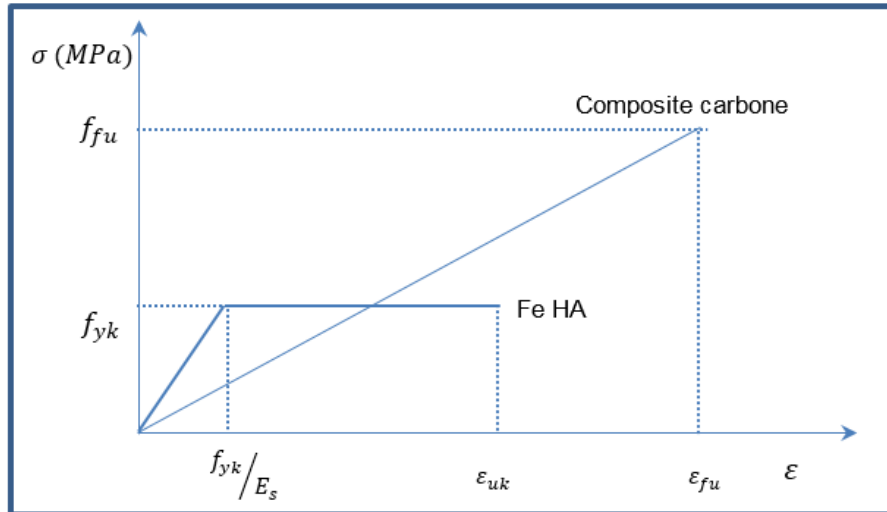


Figure 2 : Diagramme contraintes/déformation des différents matériaux

Dans le cas des aciers de précontrainte, plusieurs lois de comportement peuvent être utilisées :

- La loi bilinéaire à palier horizontal
- La loi bilinéaire à palier incliné avec limite de déformation,

Avec :

γ_s = coefficient partiel de l'acier de précontrainte dont la valeur est :

- 1,15 en situation durable et transitoire
- 1 en situation accidentelle

Dans le cas d'utilisation de la loi bi-linéaire avec palier incliné, la valeur limite de résistance est définie par l'allongement maximal de calcul de calcul ϵ_{ud} dont la valeur recommandée vaut 2%.

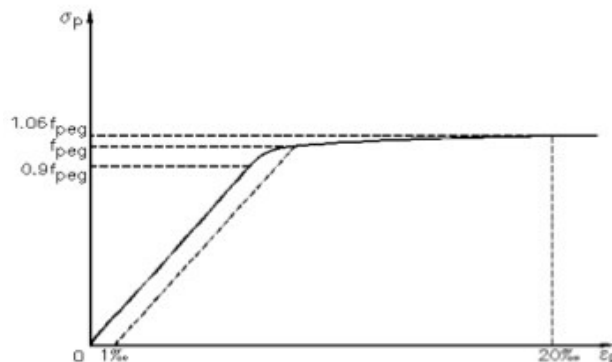


Figure 3 : : Loi de comportement des aciers de précontrainte (BPEL)

2.3.5 Justification à la rupture

Cette justification est à effectuer dans tous les cas hors situation 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) $G + Q_1 + \Psi_{oi} \cdot Q_i$, où G représente la sollicitation due à la charge permanente et $\Psi_{oi} \cdot Q_i$ 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

2.3.6 Dimensionnement en flexion

2.3.6.1 Renforcement de structure en béton armé

2.3.6.1.1 Flexion à l'état limite de service suivant BAEL 91 rév. 99

Les aciers existants sont pris en compte.

L'état de contrainte totale dans la section, dû au moment fléchissant, peut se décomposer en deux états de contraintes :

- Phase 1 : Etat de contraintes dû aux charges appliquées à la structure avant renforcement.
- Phase 2 : Etat de contrainte dû aux charges supplémentaires appliquées à la structure après renforcement.

Les deux états de contraintes sont superposés. Les vérifications sont les suivantes :

- Acier : $\sigma_{s1} + \sigma_{s2} < \bar{\sigma}_s$
- Béton : $\sigma_{c1} + \sigma_{c2} < \bar{\sigma}_c$
- Composite : $\sigma_f \leq f_{fs}$

Les contraintes admissibles $\bar{\sigma}_c$ pour le béton et $\bar{\sigma}_s$ l'acier sont celles données dans les règles BAEL 91 rev 99 :

-
- Suivant A.4.5.2 la limite en compression du béton $\bar{\sigma}_c$ est égale à $0,6f_{c28}$
- Suivant A.4.5.3 la limite en traction des armatures $\bar{\sigma}_s$ est égale à :
 - En fissuration non préjudiciable, pas de valeur spécifiée. On se limite communément à $0,8f_e$
 - En fissuration préjudiciable/très préjudiciable, on appliquera les limites réglementaires $\varepsilon/0,8\varepsilon$ respectivement.

La contrainte admissible dans le ROCC+p® à l'ELS (f_{fs}) est déterminée de la façon suivante :

$$f_{fs} = \min \left(\frac{\alpha_f \cdot f_{fu}}{\gamma_{fd}} ; 0,9\bar{\sigma}_s \right)$$

Le renfort ROCC+P® doit être prolongé au-delà de la section renforcée à la flexion, d'une distance minimum de sécurité égale à sa longueur d'ancrage.

2.3.6.1.2 Flexion à l'état limite ultime suivant BAEL 91 rév. 99

La méthode de calcul est celle de l'équilibre d'une section sous chargement ultime par un moment M_u ; la méthode des pivots tirée du BAEL 91 rév. 99.

Un nouveau pivot est introduit par rapport aux trois pivots classiques : le pivot D, qui se produit dans le composite pour un allongement limite $\varepsilon_f \cdot \alpha_f / \gamma_{fd}$.

Le pivot A ne peut pas se produire avec le procédé ROCC+P®. Etant donné la proximité entre les aciers et le composite, les déformations respectives sont très peu différentes. Le pivot D se produit avant le pivot A. Le pivot A n'est donc pas étudié.

Le pivot D : allongement limite ultime du composite :

$$\varepsilon_{fud} = \min \left(\frac{f_{fud}}{E_f} ; 0,85\% \right) = 0,85\%$$

Pivot B : épuisement de la résistance du béton sur la fibre la plus comprimée $\varepsilon = -3,5 \text{ ‰}$

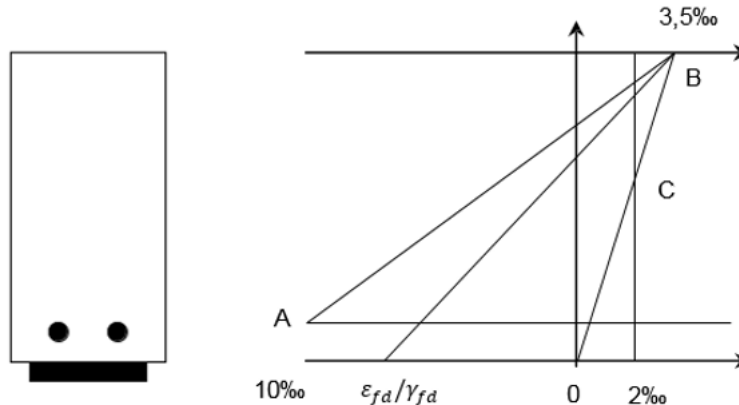


Figure 4 : Schéma des quatre pivots pour le calcul à l'ELU

Soit A_s et A_f , les sections d'acier et de composite ROCC+P®, et d , la distance entre les aciers et la fibre supérieure de la poutre. Les bras de levier des aciers et du composite par rapport au béton sont pris égaux à $Z_s = 0,9d$ et $Z_f = 0,9h$, en première approximation.

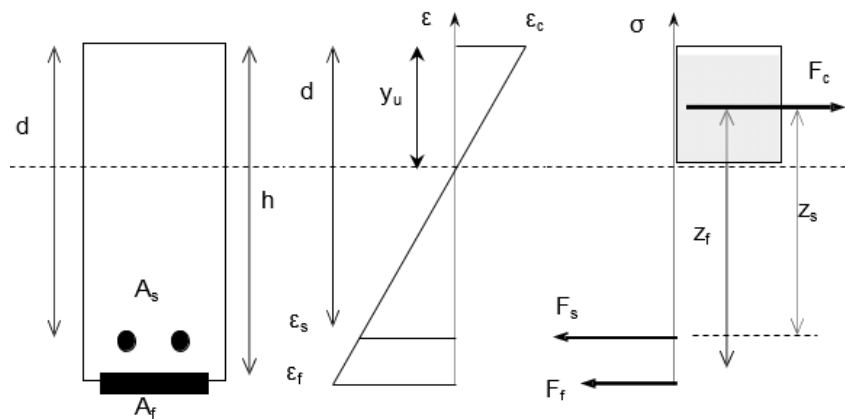


Figure 5 : Principe de calcul à partir de l'équilibre des contraintes dans une section

2.3.6.1.2.1 Hypothèse d'un pivot B dans le béton

A partir des contraintes dans le béton comprimé, le moment résistant de béton permet de déduire la position de l'axe neutre de la section étudiée y_u et les déformations ϵ dans la section :

$$y_u = \frac{M_u}{0,8 \cdot b \cdot f_{cd} \cdot z_s}$$

Le calcul des efforts dans les aciers et le composite permet le dimensionnement du composite.

Si $\epsilon_s > 2 \text{ ‰}$, $F_s = A_s \cdot f_{yk} / \gamma_s$ et si $\epsilon_s < 2 \text{ ‰}$, $F_s = A_s \cdot E_s \cdot \epsilon_s$

$$A_f \geq \frac{0,8 \cdot b \cdot f_{cd} \cdot y_u - F_s}{E_f \cdot \epsilon_f}$$

2.3.6.1.2.2 Hypothèse d'un pivot D dans le composite

Dans l'hypothèse d'un pivot D dans le composite, les déformations du composite atteignent les déformations limites. Etant donné la proximité entre les aciers et le composite, les déformations dans les aciers sont presque équivalentes, ce qui entraîne leur plastification. Les efforts s'écrivent alors :

- Acier : $F_s = A_s \cdot f_{yk} / \gamma_s$
- Composite : $F_f = A_f \cdot \epsilon_f \cdot E_f$

La section de composite à mettre en œuvre se déduit de l'équilibre des moments calculés par rapport au béton, à partir des hypothèses de bras de levier déjà énoncées.

$$M_u = F_s \cdot z_s + F_f \cdot z_f$$

$$A_f \geq \frac{M_u - z_s \cdot F_s}{z_f \cdot \epsilon_f \cdot E_f}$$

2.3.6.1.2.3 Vérification des hypothèses

Les vérifications des hypothèses de calculs concernant notamment la position de l'axe neutre sont effectués aux états ultimes selon des règles Eurocode 2 (ou BAEL 91 rev.99). Deux méthodes peuvent être employées :

- Calculs itératifs des équilibres de sections
- Utilisation de logiciels d'assistance au dimensionnement des structures en béton armé ou précontraint.

Dans le cas d'ouvrages précontraints les justifications peuvent être menées suivant les règles BPEL ou EC2 de la même façon en justifiant les sections en fonction des déformations réglementaires admissibles (voir section suivante). Le composite dans ce cadre-là fera office d'armatures passives dans ces justifications (en particulier vis-à-vis des armatures minimales à mettre en place).

2.3.6.1.3 Flexion à l'état limite de service suivant l'EC2.1.1

Les aciers existants sont pris en compte.

L'état de contrainte totale dans la section, dû au moment fléchissant, peut se décomposer en deux états de contraintes :

- Phase 1 : Etat de contraintes dû aux charges appliquées à la structure avant renforcement.
- Phase 2 : Etat de contrainte dû aux charges supplémentaires appliquées à la structure après renforcement.

Les deux états de contraintes sont superposés. Les vérifications sont les suivantes :

- Acier : $\sigma_{s1} + \sigma_{s2} < \bar{\sigma}_s$
- Béton : $\sigma_{c1} + \sigma_{c2} < \bar{\sigma}_c$
- Composite : $\sigma_f \leq f_{fs}$

Les contraintes admissibles $\bar{\sigma}_c$ pour le béton et $\bar{\sigma}_s$ l'acier sont celles données dans l'EC2.1.1 :

- La limite en compression du béton est égale à $0,6f_{c28}$ sous combinaisons caractéristiques, $0,45f_{c28}$ sous combinaisons quasi-permanentes
- La limite en traction des armatures $\bar{\sigma}_s$ est égale à :
 - Pour une fissuration acceptable à $0.8f_{yk}$
 - Pour une fissuration limitée, on se reportera à la méthodologie de vérification de calcul de l'ouverture de fissure du §7.3 de l'EC2.1.1 et NA.

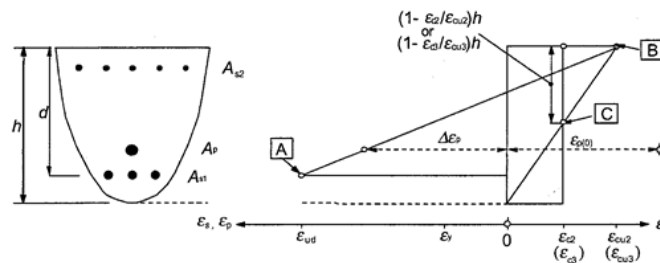
La contrainte admissible dans le ROCC+P® à l'ELS est déterminée de la façon suivante :

$$f_{fs} = \min \left(\frac{\alpha_f \cdot f_{fu}}{\gamma_{fd}} ; 0,9\bar{\sigma}_s \right)$$

Le renfort ROCC+P® doit être prolongé au-delà de la section renforcée à la flexion, d'une distance minimum de sécurité égale à sa longueur d'ancrage.

2.3.6.1.4 Flexion à l'état limite ultime suivant l'EC2.1.1

La méthode de calcul est celle de l'équilibre d'une section sous chargement ultime par un moment M_u ; la méthode des pivots décrite ci-après s'applique avec les limites suivantes pour les matériaux :



- A** - limite de déformation relative en traction des armatures de béton armé
- B** - limite de déformation relative du béton en compression
- C** - limite de déformation relative du béton en compression pure

- Pour le béton : $\epsilon_{cu2} = 0,35\%$ - $\epsilon_{c2} = 0.20\%$
- Pour l'acier : $\epsilon_{ud} = 0,9\epsilon_{uk}$ avec limite de déformation, pas de limite sur ϵ_{ud} s'il n'y a pas de limite de déformation
- Pour le composite : $\epsilon_f < \epsilon_{fud} = \min \left(\frac{f_{fud}}{E_f} ; 0,85\% \right) = 0,85$

2.3.6.2 Renforcement de structures en béton précontraint

2.3.6.2.1 Flexion à l'état limite de service suivant BPEL 91

Le calcul des structures en béton précontraint renforcées à l'aide du procédé ROCC+P peut se faire selon les règles et les principes du 91 rev 99.

Il est possible de renforcer à la flexion un élément précontraint par ROCC+p.

Pour cela on vérifiera :

- Soit que les justifications liées à la classe de vérification initiale restent respectées
- Soit il est admis que l'ouvrage change de classe et alors on effectuera les justifications suivant la classe de vérification modifiée

Pour assurer un maximum d'efficacité aux renforcements, la structure sera initialement déchargée au maximum :

- Uniquement le poids propre avec ou sans revêtements,
- Sans surcharge.

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

2.3.6.2.1.1 Classe II

Aucune contrainte de traction n'est admise dans le béton lors de la mise en place des renforts. Concernant la contrainte en compression, elle est limitée à $\sigma_b < 0,6 f_{cj}$ sous combinaison rares et fréquentes (ou $0,5 f_{cj}$ sous combinaisons quasi permanentes).

Après renfort, en service, les contraintes de traction dans le béton doivent satisfaire aux valeurs du BPEL, alinéa 6.1.23 soit :

- Sous combinaisons rares : f_{tj} dans la section d'enrobage et $1,5 \times f_{tj}$ ailleurs,
- Sous combinaisons fréquentes : 0 dans la section d'enrobage.

La justification en classe II est admise moyennant le respect de la condition de renfort minimal transposée de l'alinéa 6.1.32 du BPEL et détaillée au §2.3.6.2.1.3.

2.3.6.2.1.2 Classe III

Ce calcul est conduit suivant l'alinéa 6.1.24 du BPEL :

- Les sections droites restent planes,
- La résistance à la traction du béton est négligée,
- Les matériaux ne subissent pas de glissement relatif (sauf dans le cas de la précontrainte non adhérente ; dans ce cas, aucune surtension dans ces armatures n'est prise en compte),
- Les contraintes dans les matériaux sont obtenues par la superposition de l'état avant renforcement (indice 1) et de l'état après renforcement et augmentation des charges (indice 2).

Ainsi :

$$\sigma_b = \sigma_{b1} + \sigma_{b2}$$

$$\sigma_p = \sigma_{p_m} + \sigma_{p_2}$$

$$\sigma_s = \sigma_{s1} + \sigma_{s2}$$

$$\sigma_f = \sigma_{f_2}$$

Le calcul des sollicitations dans les matériaux béton et armatures passives avant renforcement (état 1) est effectué en flexion composée en prenant les caractéristiques de la section non renforcée, soumise aux sollicitations $N = P_m$, force de précontrainte dans le câble au temps t, après pertes instantanées et différées ; et $M = M_1$, moment avant renforcement.

Les surcompressions du béton, les surtensions des armatures passives ainsi que la tension dans le renfort ROCC+P sont obtenues par un calcul en flexion composée de la section renforcée en soustrayant les valeurs obtenues sous $N = P_m$ et $M = M_1$ aux valeurs obtenues sous $N = P_m$ et M_{total} en service.

Les surtensions des armatures actives sont obtenues par ce même calcul mais en soustrayant aux valeurs obtenues sous $N = P_m$ et M_{total} les valeurs obtenues sous $N = P_m$ et $M = M_{perm}$ (moment à l'état permanent).

Tous les matériaux sont dans leur domaine élastique et leurs contraintes sont limitées aux valeurs suivantes :

- Béton $\sigma_b < 0,6 f_{cj}$ ($0,5 f_{cj}$ sous combinaisons quasi permanentes)
- Aciers passifs : $\sigma_s < 0,8 f_y$
- ROCC+p® : $\sigma_f < \sigma_{f_{lim}}$

Sous combinaisons quasi-permanentes, la section d'enrobage demeure entièrement comprimée. On peut néanmoins accepter une tension inférieure ou égale à $0,7 f_{tj}$ si le ROCC+P assure une étanchéité complète de la zone tendue en question (recouvrement total de la surface renforcée).

Sous combinaisons fréquentes, les surtensions sont limitées à :

- Précontrainte adhérente $\sigma_{p_2} < 100$ MPa
- Aciers passifs : $\sigma_{s_2} < 0,35 f_y$

Sous combinaisons rares, les surtensions sont limitées à :

- Précontrainte adhérente par post-tension $\sigma_{p_2} < 0,10 f_{prg}$
- Précontrainte adhérente par pré-tension $\sigma_{p_2} < \min(0,10 f_{prg}; 150 \eta_p)$

2.3.6.2.1.3 Section minimale des renforts

La section minimale de renfort à disposer dans les zones tendues applicable aux justifications en classe II et III est de :

$$A_f = \frac{B_t}{1000} + \left(\frac{N_{Bt}}{\sigma_{f_{lim}}} - A_s - A_p \right) \frac{f_{tj}}{\sigma_{Bt}}$$

Avec :

- B_t : Aire de la partie du béton tendu
- σ_{Bt} : Valeur absolue de la contrainte maximale de traction
- N_{Bt} : Résultante des contraintes de traction correspondantes
- (Ces différentes quantités étant calculées sur la section non fissurée en classe II et en classe III)
- A_s et A_p : sections respectives des armatures passives et prétendues dont la distance au parement en traction n'excèdent pas la plus grande des deux valeurs : 5 cm ou deux tiers de la hauteur du béton tendu.

2.3.6.2.2 Flexion à l'état limite ultime suivant BPEL 91

Ce calcul est conduit suivant l'alinéa 6.3 du BPEL adapté comme suit :

- Les sections droites restent planes,
- La résistance à la traction du béton est négligée,
- Les matériaux ne subissent pas de glissement relatif (sauf dans le cas de la précontrainte non adhérente, dans ce cas, aucune surtension dans ces armatures n'est prise en compte.)

- Les diagrammes contraintes - déformations du béton et des armatures passives et actives ainsi que les coefficients de sécurité partiels sont ceux du BPEL.

L'allongement préalable des armatures de précontrainte ε_{pm} ainsi que l'accroissement accompagnant le retour à zéro de la déformation du béton adjacent $\Delta'\varepsilon_{pm}$ sont ceux du §6.3,31 du BPEL. La variation de déformation complémentaire $\Delta''\varepsilon_{pm}$ est donnée par le diagramme des déformations en flexion composée de la section soumise à l'effort normal $N = P_m$ et au moment ultime total M_u .

Pour un effort normal donné, le moment ultime résistant est obtenu lorsque le diagramme des déformations de la section est un diagramme limite défini par l'une des conditions ci-après :

- Pivote A : $\Delta''\varepsilon_p$ ou $\varepsilon_s = 1\%$
- Pivote B : $\varepsilon_b = 0,35\%$
- Pivote D : $\varepsilon_{fu} = 0,96\%$

Le calcul d'équilibre sera mené :

- Soit sur un logiciel adapté qui vérifie l'équilibre ELU de la section
- Soit de façon approchée avec le diagramme suivant :

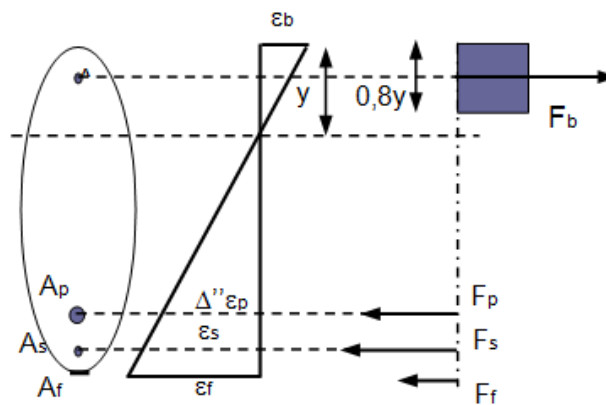


Figure 6 : Principe de calcul à partir de l'équilibre des contraintes dans une section en béton précontraint

$$F_b = (0,8y)b 0,85f_{cj}/\theta/\gamma_b$$

$$F_p = A_p E_p \Delta''\varepsilon_p / \gamma_b$$

$$F_s = A_s E_s \varepsilon_s / \gamma_s$$

$$F_f = A_f E_f \varepsilon_{fu}$$

Où γ_s , γ_p et γ_b ont les valeurs usuelles du BPEL.

2.3.6.2.3 Flexion à l'état limite de service suivant l'EC2.1.1

Le dimensionnement des structures en béton précontraint renforcées à l'aide du procédé ROCC+p peut se faire selon les règles de l'Eurocode 2.1.1

Enfin, 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.

Ce calcul est conduit selon les hypothèses suivantes :

- Les sections droites restent planes ;
- La résistance à la traction du béton est négligée ;
- Les matériaux ne subissent pas de glissement relatif (sauf dans le cas de la précontrainte non adhérente ; dans ce cas, aucune surtension dans ces armatures n'est prise en compte) ;
- Les contraintes dans les matériaux sont obtenues par la superposition de l'état avant renforcement (indice 1) et de l'état après renforcement et augmentation des charges (indice 2).

On a donc :

$$\sigma_c = \sigma_{c1} + \sigma_{c2}$$

$$\sigma_p = \sigma_{pm} + \sigma_{p2}$$

$$\sigma_s = \sigma_{s1} + \sigma_{s2}$$

$$\sigma_f = \sigma_{f2}$$

Avec :

- σ_{f2} , état de contrainte dans le composite après renforcement
- σ_{pm} , la contrainte dans le câble de précontrainte au temps t, après pertes instantanées et différées.

Le calcul des sollicitations dans les matériaux béton et armatures passives avant renforcement (état 1) est effectué en flexion composée en prenant les caractéristiques de la section non renforcée, soumise aux sollicitations $N = P_m$, force de précontrainte dans le câble au temps t, après pertes instantanées et différées ; et $M = M_1$, moment avant renforcement.

Les surcompressions du béton, les surtensions des armatures passives ainsi que la tension dans le renfort ROCC+P sont obtenues par un calcul en flexion composée de la section renforcée en soustrayant les valeurs obtenues sous $N = P_m$ et $M = M_1$ aux valeurs obtenues sous $N = P_m$ et M_{total} .

Les surtensions des armatures actives sont obtenues par ce même calcul mais en soustrayant aux valeurs obtenues sous $N = P_m$ et M_{total} les valeurs obtenues sous $N = P_m$ et $M = M_{perm}$ (moment à l'état permanent).

Tous les matériaux sont dans leur domaine élastique et leurs contraintes sont limitées aux valeurs suivantes :

- ROCC+p est limitée en contrainte à $\sigma_f < \sigma_{fs}$ avec $\sigma_{fs} = \min\{f_{fd,ELS} ; 0,9\bar{\sigma}_s\}$ où $\bar{\sigma}_s = 0,8f_{yk}$
- Armatures passives : $0,80f_{yk}$ sous combinaison caractéristique
- Armatures de précontraintes : $0,80 f_{pk}$ sous combinaison caractéristique dans le cas de la précontrainte adhérente
- Béton : $0,6f_{ck}$ sous combinaison caractéristique et $0,45f_{ck}$ sous combinaison quasi-permanente

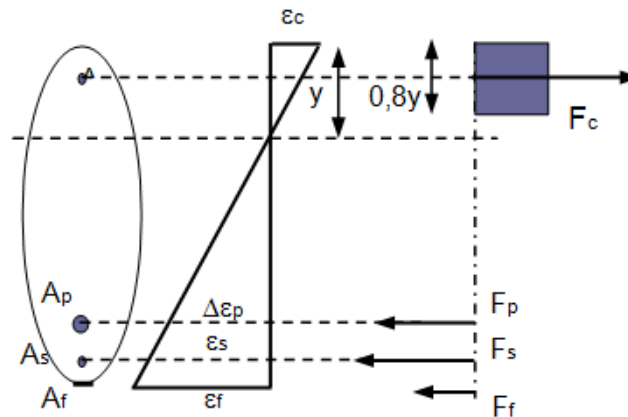


Figure 7 : Principe de calcul à partir de l'équilibre des contraintes dans une section en béton précontraint à l'ELS.

2.3.6.2.4 Flexion à l'état limite ultime selon l'EC2.1.1

Ce calcul est conduit suivant l'alinéa 6.1 de l'Eurocode 2 adapté comme suit :

- Les sections droites restent planes ;
- La résistance à la traction du béton est négligée ;
- Les matériaux ne subissent pas de glissement relatif (sauf dans le cas de la précontrainte non adhérente, dans ce cas, la surtension dans ces armatures est calculée selon le §5.10.8 de l'Eurocode 2) ;
- Les diagrammes contraintes - déformations du béton et des armatures passives et actives ainsi que les coefficients de sécurité partiels sont ceux de l'Eurocode 2.

L'allongement des armatures de précontrainte est calculé comme suit (allongement calculé à partir de la figure 6.1 de l'Eurocode 2) :

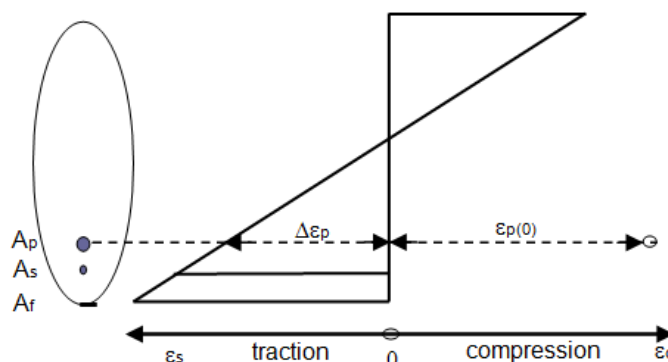


Figure 8 : Principe de calcul à partir de l'équilibre des contraintes dans une section en béton précontraint à l'ELU

Allongement initial $\varepsilon_{p(0)}$: L'allongement initial tient compte de la contrainte dans le câble après pertes et le raccourcissement du béton au niveau de l'emplacement de la précontrainte, $\varepsilon_{c,pm}$ dû à la précontrainte :

$$\varepsilon_{p(0)} = \frac{P_m}{A_p \cdot E_p} + \varepsilon_{c,pm} = \frac{P_m}{A_p \cdot E_p} + \frac{\sigma_{c,pm}}{E_{cm}}$$

Variation de déformation complémentaire $\Delta\varepsilon_p$: Elle est donnée par le diagramme des déformations en flexion composée de la section soumise à l'effort normal $N = P_m + N_{Ed}$ et au moment ultime M_{Ed} .

Pour un effort normal donné, le moment ultime résistant est obtenu lorsque le diagramme des déformations de la section est un diagramme limite défini par l'une des conditions ci-après :

Pivot A : $\varepsilon_{lim} = \varepsilon_{s,lim}$ et $\Delta\varepsilon_p = \frac{(P_m - y) \cdot \varepsilon_{s,lim}}{d - y}$

Pivot B : $\varepsilon_{lim} = \varepsilon_{c,lim}$ et $\Delta\varepsilon_p = \frac{((d_p - y) \cdot \varepsilon_{c,lim})}{y}$

Pivot D : $\varepsilon_{lim} = \varepsilon_{f,lim} = \varepsilon_{fu} = 0,96 \%$ et $\Delta\varepsilon_p = \frac{(d_p - y) \cdot \varepsilon_{f,lim}}{h - y}$

Le calcul d'équilibre sera mené :

- Soit sur un logiciel adapté qui vérifie l'équilibre ELU de la section
- Soit de façon approchée avec le diagramme suivant :
- $F_c = (0,8y) b \frac{f_{ck}}{\gamma_c}$
- $F_p = A_p \frac{(\sigma_p(\varepsilon_{p(0)} + \Delta\varepsilon_p))}{\gamma_p}$
- $F_s = A_s \frac{\sigma(\varepsilon_s)}{\gamma_s}$
- $F_f = A_f E_f \varepsilon_{fu}$

Où γ_s , γ_p et γ_b ont les valeurs usuelles des règles Eurocodes.

2.3.7 Dimensionnement à 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.

Le renforcement n'est pas admis dans le cas d'un moment négatif sur l'appui considéré. Dans ce cas, la poutre ainsi renforcée doit être justifiée vis-à-vis de l'effort tranchant, en ne tenant compte que de la retombée sous dalle.

Le dimensionnement à l'effort tranchant du procédé de renforcement ROCC+p® est effectué selon les règles BAEL 91 rev 99 (Recommandations de l'AFGC de 2003 révisées 2007) ou selon les Eurocodes (Recommandations de l'AFGC de 2011) suivant les DPM précisant le référentiel à prendre en compte.

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. Trois cas se présentent :

- Si la poutre le permet, les bandes de composite ROCC+P entoureront la poutre. Il n'y a pas de problèmes d'ancrage.
- Si la poutre se trouve sous une dalle, le composite ROCC+P 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. Enfin, 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 bandes U en composite ROCC+P peuvent être ancrées dans le hourdis à l'aide de mèches ROCC+P. (cf. §2.2.3).

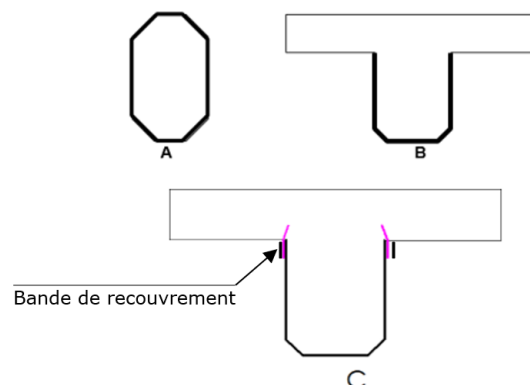


Figure 9 : Possibilité d'entourer la section d'une poutre avec une armature complémentaire en composite vis-à-vis de l'effort tranchant

Les poutres soumises à des efforts tranchants sont justifiées vis-à-vis de l'état limite ultime 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 w_f et leur espacement s_f .

La résistance à l'effort tranchant est alors la somme des efforts que peuvent reprendre le béton V_c , l'acier V_s et le composite V_f .

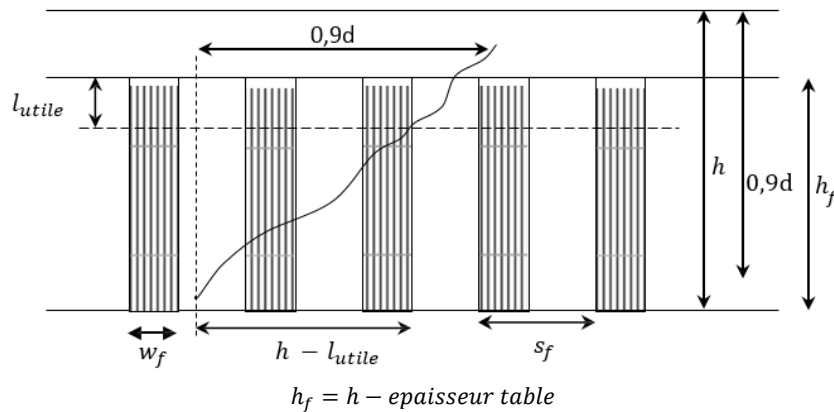


Figure 10 : Renforcement à l'effort tranchant pour une fissure inclinée à 45° dans une poutre en T

La partie supérieure du tissu, correspondante à la longueur utile d'ancrage l_{utile} , n'est pas prise en compte dans le renfort. Les paragraphes ci-après détaillent pour chaque règlement et chaque cas les justifications. Enfin, il y a lieu de vérifier le non-glissement du plan de collage.

2.3.7.1 Renforcement de structure en béton armé (BAEL 91 rev 99)

Le renforcement par du ROCC+P est envisageable sous réserve de vérifier le non-dépassement des contraintes admissibles de cisaillement du BAEL dans le béton $\tau_u = \frac{V_u}{b.d} \leq \tau_u^*$ avec τ_u^* déterminé par le BAEL 91 rev.99 selon les conditions de fissuration.

De plus, il est nécessaire de bien pouvoir assurer concrètement l'accrochage des bandes de ROCC+P et de vérifier que la contrainte de cisaillement ultime à l'interface béton/composite reste inférieure à la contrainte admissible $\bar{\tau}_u$.

Les bandes peuvent être fermées (A : ceinturage de la poutre), ouvertes (B : en U), ou ancrées par un ancrage mécanique (C : mèches)

La tenue à l'effort tranchant est assurée dès lors que :

$$V_u \leq V_R = V_s + V_f + V_b$$

où

- V_u : effort tranchant ultime à la section considérée ;
- $V_s = \frac{A_{st}}{S_t} z \frac{f_e}{\gamma_s} \frac{\sin(\alpha+\theta)}{\gamma_s}$ contribution des armatures ;
- $V_f = \frac{A_{sf}}{S_f} z_f \sigma_t \frac{\sin(\alpha_f+\theta)}{\sin \theta}$ contribution du ROCC+P ;
- $V_b = kb_n z \frac{f_{t28}}{3}$ contribution du béton. f_{t28} : contrainte de traction du béton
- Les angles α et α_f correspondent respectivement à l'inclinaison par rapport à l'horizontale des armatures passives et des bandes de ROCC+p®. Leur valeur usuelle est 90 degrés.

Les valeurs de σ_f et de z_f dépendent du type de renforcement :

- Cas A : bandes ceinturant la poutre
 $\sigma_f = 609 \text{ MPa}$ (voir tableau 3 §2.2.2.3.1)
 $z_f = 0,9d$
- Cas B : Bandes en U non ancrées dans le hourdis
 $\sigma_f = \sigma_{flim}$ (Avec entrainement total du composite et $\bar{\tau}_u = 2 \text{ MPa}$)
 $z_f = \text{Min} [0,9 d ; h_f - L]$
- Cas C : bandes en U ancrées dans le hourdis par des mèches ROCC+P espacées de 50 mm ou plus (capacité par mèches 18,6 kN ELU) Voir capacités des mèches au §2.2.3.

$$\sigma_f = \max[\sigma_{flim} ; \frac{18,6}{(t_f \times d')}] \leq 609 \text{ MPa}$$

$$z_f = \text{Min}[0,9; h_f]$$

Avec d' , espacement des mèches en m et $t_f = 1 \text{ mm}$

L'usage de bandes ceinturant la poutre ou de bandes en U avec ancrage mécanique (mèches) est limité à des bandes perpendiculaires à l'axe longitudinal de la poutre (= 90°).

Dans le cas B, une couche de ROCC+P au maximum par bande est envisageable du fait de la limitation de l'entrainement total. Pour disposer une deuxième couche il faudra nécessairement qu'elle soit ancrée.

2.3.7.2 Renforcement des structures en béton précontraint (BPEL 91)

Notations et schémas identiques à l'article 4.71 mais l'angle des fissures d'effort tranchant θ peut varier de 30 degrés à 45 degrés. Cet angle θ est déterminé par la formule du BPEL §7.3 :

- **Contribution des armatures** : $V_s = \frac{A_{st}}{S_t} z \frac{f_e}{\gamma_s} \frac{\sin(\alpha+\theta)}{\gamma_s}$
- **Contribution du ROCC+p®** : $V_f = \frac{A_{sf}}{S_f} z_f \sigma_f \frac{\sin(\alpha_f+\theta)}{\sin\theta}$
- **Contribution du béton** : $V_b = kb_n z (f_t)/3$

Les angles α , α' et α_f correspondent respectivement à l'inclinaison par rapport à l'horizontale des armatures passives, actives et des bandes de ROCC+P. Leur valeur usuelle est 90 degrés.

Les valeurs de α_f et z_f de varient en fonction du type de renforcement : voir §2.3.6.3 ci-dessous.

2.3.7.3 Renforcement de structure en béton armé (EC2)

Par analogie au calcul des armatures d'effort tranchant en béton armé, le renforcement à l'effort tranchant par du ROCC+p® est calculé à l'ELU exclusivement.

Le renforcement par du ROCC+p® 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 ROCC+P et de vérifier que contrainte de cisaillement ultime à l'interface béton reste inférieure à la contrainte $\bar{\tau}_u$.

Les bandes peuvent être fermées (ceinturage de la poutre), ouvertes (en U), ancrées par mèches (Voir capacités des mèches au §2.2.3).

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

- 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).

Contribution des armatures :

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

Contribution du renfort ROCC+P :

$$V_f = \frac{A_f}{S_f} z_f \sigma_f (\cot\theta + \cot\alpha_f) \sin\alpha_f$$

Les valeurs de σ_f et de z_f dépendent du type de renforcement :

- Cas A : bandes ceinturant la poutre

$$\sigma_f = (\text{Voir tableau 3 §2.2.2.3.1})$$

$$z_f = 0,9 d$$

- Cas B : Bandes en U non ancrées dans le hourdis $\sigma_f = \sigma_{f,lim}$ (avec entrainement total du composite et $\bar{\tau}_u = 2$ MPa)

$$z_f = \min[0,9; h_f - L]$$

- Cas C : bandes en U ancrées dans le hourdis par des mèches ROCC+P espacées de 50 mm ou plus (capacité par mèches 19,3 kN ELU)

$$\sigma_f = \max[\sigma_{f,lim}; \frac{19,4}{(t_f \times d')}] \leq 664 \text{ MPa}$$

$$z_f = \min[0,9d; h_f]$$

Avec d' , espacement des mèches en m et $t_f = 1$ mm

L'usage de bandes ceinturant la poutre ou de bandes en U avec ancrage mécanique (mèches) est limité à des bandes perpendiculaires à l'axe longitudinal de la poutre (=90°).

Dans le cas B, une couche de ROCC+P au maximum par bande est envisageable du fait de la limitation de l'entrainement total. Pour disposer une deuxième couche il faudra nécessairement qu'elle soit ancrée.

2.3.7.4 Renforcement de structure en béton précontraint (EC2)

Les câbles longitudinaux de précontrainte modifient l'effort tranchant sollicitant selon la force de précontrainte et l'angle d'inclinaison des câbles par rapport à l'horizontale α' .

$$V_{Ed} = V_{ext} + P_m \cdot \sin\alpha' + V_{hyper}$$

Avec :

V_{hyper} : les effets hyperstatiques de la précontrainte

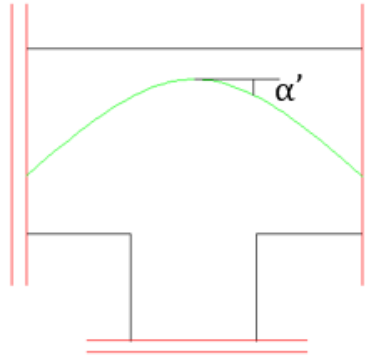


Figure 11 : Renforcement en béton précontraint. Angle α'

Le calcul du renforcement par bandes de ROCC+p® se fait de la même façon que pour le béton armé en considérant l'effort tranchant modifié par l'effet de la précontrainte (iso et hyper) et l'effet Resal.

2.3.7.5 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 ROCC+p® est :

$$s_f < 2/3 \cdot (h - l_{utile})$$

$$l_{utile} < l_{anc}$$

2.3.8 Critères de résistance du collage

2.3.8.1 Critères de rupture par glissement

En chargement, des contraintes de cisaillement τ_{int} apparaissent au niveau de l'interface. Elles peuvent provoquer deux types de mécanismes de rupture :

- Une rupture par délaminage à l'extrémité du renfort (décollement du composite),
- Un arrachement de la couche de béton d'enrobage qui est fragile.

Pour chaque mécanisme, des critères de rupture sont établis, aussi bien à l'ELS qu'à l'ELU.

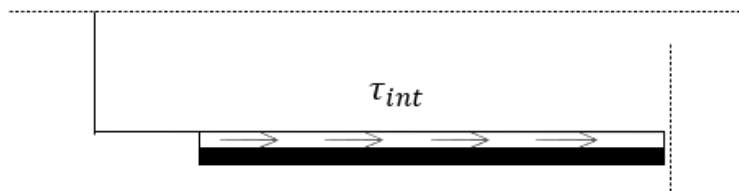


Figure 12 : Contraintes de cisaillement à l'interface composite béton

Les contraintes de cisaillement à l'interface entre le composite et le béton sont calculées de la façon suivante. La première correspond à l'ELS, la seconde à l'ELU :

$$\tau_{ad,ELS} = \frac{y_f \cdot t_f \cdot n_f}{I_t} \cdot V_{Ed,ELS}$$

$$\tau_{ad,ELU} = \frac{V_{Ed,ELU}}{(w_f \cdot z)} \cdot \frac{F_f}{F_s + F_f}$$

$V_{Ed,ELS}$, $V_{Ed,ELU}$: Valeur maximale de l'effort tranchant sur la longueur où est appliqué le procédé ROCC+p® ;

y_f : Distance entre le composite et l'axe neutre ;

n_f : Rapport des modules d'élasticité = E_f / E_c ;

I_t : Inertie de la section fissurée ;

F_s , F_f : Traction appliquée, sous l'effet de la flexion, respectivement à l'acier et au composite ;

w_f : Largeur de collage du composite.

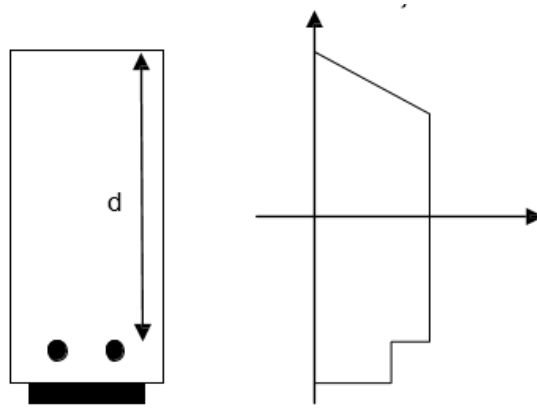


Figure 13 : Répartition du taux de cisailement dans la section

2.3.8.1.1 Critère de rupture de l’interface béton/composite

2.3.8.1.1.1 Dans le béton

Ce critère de rupture fait référence à celui proposé par les recommandations provisoires de l’AFGC (Février 2011).

Vérification à l’ELS

On calcule l’effort repris dans le composite à l’état limite de service dans la section située juste après la zone de transfert (Σ_1 sur la figure ci-après). Soit F_f ELS la valeur de cet effort.

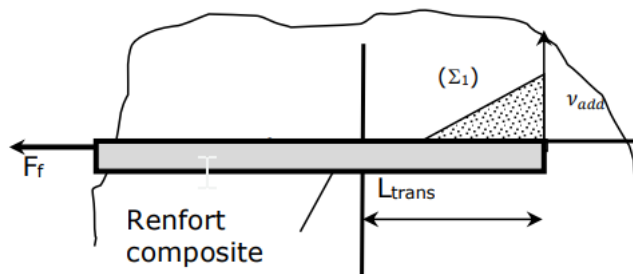


Figure 14 : Répartition triangulaire de la contrainte de cisailement

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

$$v_c = \frac{F_{f,ELS}}{w_f \cdot l_{anc,d}} \leq v_{add} \text{ (ELS)}$$

Vérification à l’ELU

On détermine l’épaisseur minimale de renforcement nécessaire pour assurer la résistance en flexion à l’ELU de la section (Σ_1). Soit $t_{f,ELU}$ cette épaisseur et $F_{f,ELU}$ l’effort ultime correspondant dans le renforcement : $F_{f,ELU} = E_f \cdot \epsilon_{f,ud} \cdot w_f \cdot t_{f,ELU}$ (pour le pivot D).

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

$$v_{cu} = \frac{F_{f,ELU}}{w_f \cdot l_{anc,d}} \leq v_{adud} \text{ (ELU)}$$

2.3.8.1.1.2 Dans la colle

Les deux critères de rupture suivants, applicables dans le dimensionnement, font référence à ceux proposés par P. Hamelin en juin 1998 [2].

La contrainte admissible à prendre en compte au niveau de l’interface est calculée en utilisant une loi semblable au critère de Mohr-Coulomb. (cf. références bibliographiques)

$$\tau_{adm} = \frac{5,4}{1+K \cdot \tan 33^\circ}, \text{ avec } K = 1,31 \times \sqrt[4]{\frac{t_f \cdot E_{ad}}{t_{ad} \cdot E_f}}$$

t_f, t_{ad} : épaisseurs du composite et de la résine ;

E_f, E_{ad} : modules d’élasticité du composite et de la résine.

Les conditions à vérifier sont :

- A l’ELS: $\tau_{ad,ELS} < \min (0,5\tau_{adm} ; v_{add} \text{ (ELS)})$
- A l’ELU: $\tau_{ad,ELU} < \min (\tau_{adm}; v_{adud} \text{ (ELU)})$

2.3.8.1.2 Critère de rupture par arrachement de la couche de béton d'enrobage

La partie de béton située entre deux fissures consécutives se comporte comme une poutre en cantilever.

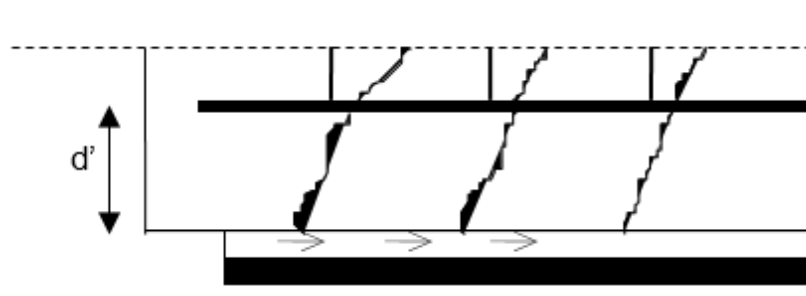


Figure 13 : Rupture du renfort par arrachement du béton d'enrobage, compris entre les aciers et la surface.

La contrainte admissible en cisaillement du béton vaut :

$$\tau_{adm} = \min\left\{\frac{f_{ctm} \cdot s_t \cdot b}{6 \cdot d' \cdot w_f}; \bar{\tau}_u\right\}$$

$\bar{\tau}_u$: Contrainte de cisaillement admissible dans le béton (2 MPa)

s_t : Distance entre deux fissures consécutives qu'on prendra égale à la distance entre étriers

Les conditions à vérifier sont :

- A l'ELS : $\tau_{ad,ELS} < \min(0,5\tau_{adm}; \nu_{add}(ELS))$
- A l'ELU : $\tau_{ad,ELU} < \min(\tau_{adm}; \nu_{adud}(ELU))$

2.3.8.2 Longueur d'ancrage et recouvrement

Pour faire passer les efforts du composite à la structure, une longueur d'ancrage minimale est recommandée. Deux cas sont distingués :

- Dans le cas d'un renfort en flexion, le composite est collé à la structure sur toute sa longueur. Compte tenu des déformations et des fissures dans le béton d'enrobage, la longueur d'ancrage de part et d'autre de la zone efficace du renforcement est prise égale à :

$$l_{anc} = l_{expérimentale}$$

$$l_{expérimentale} = 20 \text{ cm Quel que soit la largeur du renfort.}$$

- Dans le cas où le composite intervient comme armature pour « recouvrir » une fissure, les contraintes d'adhérence à l'interface entre le béton et le composite sont en cisaillement pur. La longueur d'ancrage est celle qui permet d'assurer, par l'intermédiaire de la résine, la transmission au béton de la totalité de l'effort exercé sur le composite.

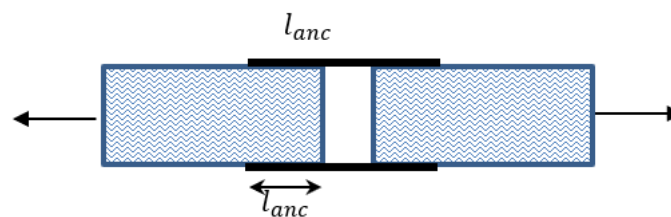


Figure 14 : Essai de résistance au cisaillement du composite sur le support béton, de part et d'autre d'une fissure

Dans le cas où la continuité des renforts composites ROCC+p® doit être obtenue par recouvrement. La longueur de recouvrement aux ELU doit être déterminée de la façon suivante : $L_{rec} = f_{fud} \cdot t_f / \tau_{f,ud} \leq 200 \text{ mm}$. Avec f_{fud} et $\tau_{f,ud}$ indiqués aux § 2.2.2.3 et § 2.2.4.2

2.3.9 Confinement des poteaux en béton

Suivant [4] et [5], il est possible d'augmenter notablement la capacité résistante des poteaux en compression centrée en appliquant des bandes de tissu ROCC+p®. Ces bandes disposées autour de la section comprimée permettent par confinement du béton d'appliquer des charges plus importantes.

A partir de la résistance majorée $f_{cd,c}$ on vérifiera les critères de résistance au BAEL ou EC2.

Ces bandes peuvent être disposées sous différentes formes (confinement total, partiel, par cerces ou par hélice s'enroulant autour de la section) et complétées par des renforts longitudinaux.

A noter : un renfort longitudinal sera toujours placé sous l'enveloppe de confinement.

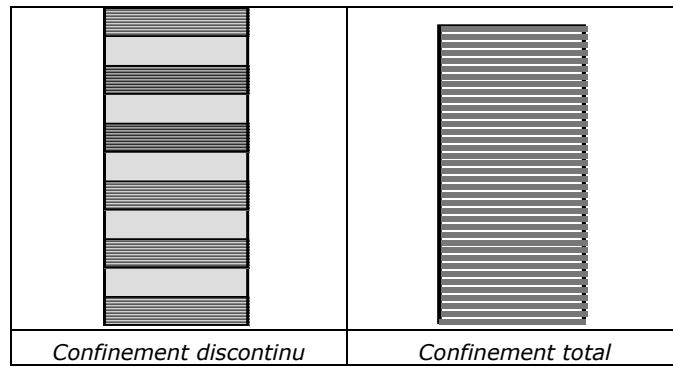


Figure 15 : configurations de confinement

Ce confinement en s’opposant à l’éclatement du béton sous la charge appliquée augmente sa capacité portante ultime. Le chargement appliqué doit être centré ou appliqué avec une excentricité inférieure ou égale à 2 cm et pour un élancement $\lambda \leq 50$.

Suivant [4], la procédure de dimensionnement concerne uniquement des poteaux de section circulaire, elliptique, carrée ou rectangulaire (dans la limite où le grand côté b est inférieur ou égal à 1,5 fois le petit côté h).

2.3.9.1 Pression de confinement – résistance du béton confiné

La pression de confinement f_l provenant du renfort en composite s'exprime comme suit :

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

La résistance en compression du béton confiné est alors calculée avec l’expression :

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

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

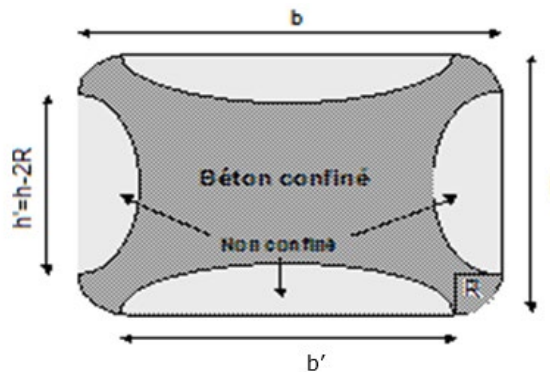


Figure 16 : définition de h', b'

- k_h calculé ci-après
 - Confinement total, $k_h = 1$
 - Confinement discontinu,

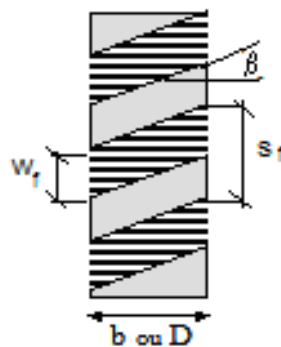


Figure 17 : Définition des paramètres pour le calcul de k_h

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

2.3.9.2 Dispositions constructives

Les angles des poteaux doivent être préparés de manière à satisfaire un rayon de courbure R_c supérieur à 35 mm

L'espacement maximal des bandes de renfort $s_f - w_f$ devra être limité à la plus petite des valeurs suivantes :

- 40 cm,
- 15 Φ où Φ représente le diamètre minimal des armatures longitudinales comprimées (afin de limiter le risque de flambement de ces armatures),
- Distance entre les cadres d'armatures transversales.

$$s_f - w_f < \min\{40 \text{ cm}; 15\phi; s\}$$

Une longueur de recouvrement minimale entre deux plis de 10 cm est requise.

Dans le cas de couches multiples on vérifie que la longueur de recouvrement est suffisante pour écarter tous risques de rupture par décollement/cisaillement interlaminaire. La longueur de recouvrement devra donc vérifier la condition :

$$l_{rec} \geq \max \left\{ \frac{f_{fu} \times t_f}{\tau_{fdd}} ; 10 \text{ cm} \right\}$$

- l_{rec} : longueur de recouvrement,
- f_{fu} : résistance en traction du composite,
- t_f : épaisseur du composite,
- τ_{fdd} : contrainte de cisaillement interlaminaire du composite.

Dans le cas d'un confinement avec renforcement en spirale, l'ancrage du composite doit être complété par un renfort horizontal continu (au sommet et à la base du poteau), convenablement ancré, de largeur w_f .

2.3.10 Renforcement parasismique des structures en béton armé

2.3.10.1 Généralités

Dans le cas de la mise à niveau d'une structure ancienne aux nouvelles règles parasismiques ou du renforcement d'une structure nouvelle ne respectant pas les dispositions parasismiques on pourra utiliser le ROCC+p® en solution de confortement suivant les principes établis ci-après.

Les renforts en polymère renforcé en fibre de carbone (type ROCC+p) permettent d'augmenter la résistance locale de composants de la structure dont la défaillance engendrerait des conséquences au niveau global, ou encore à améliorer la ductilité par confinement, dans le domaine d'emploi visé.

Il s'agit d'une stratégie de renforcement locale ayant pour but d'augmenter la résistance et ductilité en zones spécifiques de la structure de l'ouvrage.

Suivant il est possible d'augmenter notablement la capacité résistante des structures sous séisme en appliquant des bandes de tissu ROCC+pT® en :

- Confinant les nœuds de la structure ou les poteaux (augmentation de la contrainte de compression admissible) ;
- Renforcer la résistance à la flexion de la structure (augmentations des capacités en flexion) ;
- Renforcer la résistance au cisaillement de la structure (reprise des bielles de cisaillement).

Conformément au §1.1.1 du présent document, seuls les éléments en béton armé peuvent être renforcés en situation sismique ; le renforcement d'éléments en béton précontraint en situation sismique est donc exclu du domaine d'emploi.

2.3.10.2 La réglementation relative à la prévention du risque sismique

Les principaux textes réglementaires fixant les règles de la construction parasismique sont :

- Le code de l'environnement articles R.563-1 à R.563-8 ;
- Le décret du 22 octobre 2010 relatif à la prévention du risque sismique
- L'arrêté du 22 octobre 2010 modifié relatif à la classification et aux règles de construction parasismique applicables aux bâtiments de la classe dite « à risque normal »
- Eurocode 8-1 : NF EN 1998-1 et son Annexe Nationale ;
- Eurocode 8-3 : NF EN 1998-3 et son Annexe Nationale ;
- Recommandations AFGC « Renforcements parasismiques de structures en béton armé par matériaux composites » Juin 2015.

Ces textes fixent notamment :

- Le zonage sismique de la France,

- Les règles de construction parasismique à appliquer aux bâtiments,
- Le classement en catégories d'importance,
- Les paramètres nécessaires au calcul sismique

L'ensemble des prescriptions énoncées dans la NF EN 1998-1 et son annexe nationale doivent être respectées.

Le calcul des sollicitations d'origine sismique est effectué par analyse modale spectrale conformément à la NF EN 1998-1 et son Annexe Nationale, sans tenir compte de la contribution des renforcements à la réponse de l'ouvrage. Cette méthode d'analyse sans prise en compte de l'influence des renforts ROCC+p® et sans rebouclage de l'analyse globale après renforcement par ROCC+p® est uniquement valable s'il est démontré que :

- Les renforts composites ROCC+p® ne modifient que très peu les masses (critère satisfait étant donné la légèreté des renforts composites par collage) ;
- Les renforts composites ROCC+p® ne modifient pas les raideurs des éléments après renforcement ;

Pour le détail de la méthodologie et du dimensionnement des éléments en situation sismique, les recommandations AFGC de 2015 devront être suivies ainsi que les différents guides traitant de l'évaluation des structures existantes. En particulier, pour la méthodologie de calcul des sollicitations, les recommandations décrivent dans leur §3.2 comment la NF EN 1998-1 envisage divers types d'analyses toutes applicables au cas du renforcement parasismique à l'aide de renforts FRP.

2.3.10.3 Renforcement sismique applicable aux bâtiments existants

Afin d'être en mesure d'effectuer la conception et le dimensionnement du procédé ROCC+p®, une évaluation et une analyse préalable du risque sismique de l'ouvrage, sur la base d'un diagnostic de qualification de cet ouvrage (analyse de la résistance à l'action sismique du bâtiment), devront être préalablement réalisées par un bureau d'étude structure en fonctions des objectifs de protection définis selon la catégorie du bâtiment et l'origine de la déficience.

Cette évaluation de l'ouvrage devra être réalisée conformément aux prescriptions des §3, 4 et 5 de la NF EN 1998-3 et son Annexe nationale et des chapitres 2,3 et 4 du Guide AFPS-CSTB « Diagnostic et renforcement du bâti existant vis-à-vis du séisme » de mars 2013.

Ces investigations et cette analyse préalables devront permettre de définir la stratégie de renforcement de l'ouvrage (renforcement global et/ou local, choix du système de renforcement, ...).

2.3.10.4 Dimensionnement d'un renforcement par ROCC+p®

Dans le cadre de la réglementation parasismique, le cas des bâtiments conçus en classe de ductilité DCH est exclu du présent Dossier Technique.

2.3.10.4.1 Types d'analyse

Le dimensionnement des renforts parasismiques sera réalisé sur la base d'une méthode d'analyse modale prenant en compte les spectres de référence issus du décret définissant l'action sismique en France (pour certains cas simples, régularité du bâtiment et mode fondamentale déterminant, l'analyse par forces latérales pourra être utilisée).

L'analyse sismique sera réalisée suivant les usages habituels concernant la rigidité de la structure (voir NF EN 1998-1), en particulier le coefficient de comportement et la rigidité des éléments structurels permettant le calcul des efforts sismiques suivant la norme NF EN 1998-1. A titre indicatif, la norme NF EN 1998-1 préconise de diviser la rigidité par 2 (paragraphe 4.3.1(7)). Le guide AFPS (octobre 2010) fournit également un tableau par nature d'éléments (tableau 9.1).

D'après l'Eurocode 8-3 §4.4, les deux types d'analyse possibles pour le renforcement au séisme sont les suivantes :

- Analyse linéaire (par forces latérales, analyse modale avec spectre de réponse ou analyse temporelle linéaire)
- Analyse non linéaire (non traitée dans le présent document).

Pour l'analyse linéaire, on distinguera :

- Classe de ductilité limitée (DCL) : $q \leq 1,5$ (§5.2.2.1 de la NF EN 1998-1) => les règles de dimensionnement selon la NF EN 1992-1 sont appliquées et aucune disposition spécifique de ductilité locale n'est demandée.
- Classe de ductilité moyenne (DCM) : $q \geq 1,5$. => les règles de dimensionnement selon la NF EN 1998-1t utilisées et il convient de respecter des dispositions constructives pour la ductilité locale (§5.4.3 de la NF EN 1998-1).

L'ensemble des sections sera vérifié de façon à assurer la résistance adéquate sous la sollicitation sismique en particulier dans les zones critiques.

Les vérifications des structures seront conformes au corpus normatif (la NF EN 1992 et la NF EN 1998) ainsi qu'aux recommandations de l'AFGC de 2015, avec prise en compte des paramètres de calculs suivants :

Résistance ROCC+p® à la rupture : $\sigma_{fu} = 1100 \text{ MPa}$

Valeur de calcul sous sollicitation sismique : $\sigma_{ua} = (0,775 \times 1100) \times \gamma_f = 609 \text{ MPa}$, avec : $\gamma_f = 1,4$

$$\varepsilon_{fua} = 609/74000 = 0,8\text{‰}$$

Concernant le dimensionnement sismique les efforts sont issus de façon classique de l'analyse sismique modale. Celle-ci permet de combiner pour tous les modes et pour les trois directions les efforts appliqués à la structure sous l'effet de l'action sismique.

A partir de ces efforts la section est justifiée de façon classique avec les renforts ROCC+p®, les dispositions de l'Eurocode 2 ou du BAEL-BPEL concernant l'équilibre des sections à l'ELU sismique et les valeurs de résistance des matériaux pour le cas sismique définies dans l'avis technique (résistance, allongement, adhérence, etc...). Le processus est tout à fait similaire au cas statique de la même façon qu'il est similaire avec des sections non renforcées relevant des règlements en vigueur pour du béton armé ou précontraint. (Voir articles 5.3 EC8 pour DCL et 5.4 EC8 pour DCM, en particulier 5.4.3).

Le renforcement devra lui aussi respecter l'ensemble des dispositions constructives ou contraintes demandées dans l'EC8, en particulier 5.4.1 et 5.6.

En ce qui concerne les critères d'analyse et vérifications de sécurité, en l'absence de données dans le dossier projet, le tableau 4.3 de la NF EN 1998-1-3 résume les valeurs des propriétés des matériaux et critère pour l'analyse et les vérifications de sécurité. L'ensemble des calculs seront réalisés suivant la NF EN 1998-1. Un modèle numérique peut être réalisé soit par le bureau d'étude interne Structures Engineering soit par un bureau d'étude externe sous contrôle du bureau d'étude Structures Engineering, ingénierie de VCF.

2.3.10.4.2 Dimensionnement du confinement et du renforcement à la flexion composée par ROCC+p®

Le confinement consiste à appliquer des feuilles de ROCC+p sur le périmètre des poteaux (perpendiculairement à son axe)

Sous chargement axial le béton se dilate latéralement créant des contraintes de traction dans le composite et induit des contraintes en 3 dimensions dans le béton confiné.

La capacité portante améliorée par le frettage dû au confinement et la ductilité de la structure augmente.

On se reportera au §4.5.1.1 du guide de l'AFGC ou à l'EC8 partie 3 pour déterminer la pression de confinement apportée par le composite et la résistance à la compression majorée sur l'élément porteur. On rappelle ci-dessous :

Suivant l'EC8-3, §A.4.4.3, la pression de confinement est évaluée par :

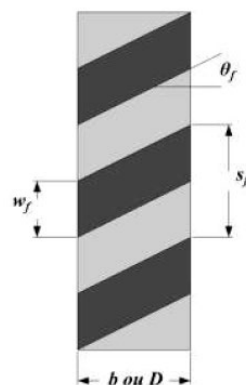
$$f_l = \frac{2t_f}{d_f} E_f \varepsilon_{ju}$$

avec :

- d_j : diamètre de la colonne
- E_f : module d'élasticité du renfort.
- ε_{ju} : la déformation ultime adoptée pour le chemisage en ROCC+p (qui est inférieure à la déformation ultime du renforcé), selon l'Eurocode 8 partie 3 (A.4.4.3).

La résistance à la compression de la colonne confinée ($f'_{cc,d}$) peut alors être calculée en tenant compte de la résistance initiale du béton (f_{cd}) et des différentes caractéristiques géométriques du renforcement et de la section. Celles-ci sont prises en compte au travers de divers coefficients (k_1, k_c, k_h, ψ_f) tel que définis dans le texte de l'AFGC et la figure ci-dessous). Ainsi, la résistance à la compression de la colonne confinée se détermine suivant :

$$f'_{cc,d} = f_{cd} + \psi_f k_1 k_c k_h f_l$$



Paramètres de dimensionnement pour un chemisage par composite géométrie de renforcement.

De même on se reportera au §4.5.1.2 du guide de l'AFGC 2015 pour apprécier l'augmentation de ductilité apportée par le tissu pour les vérifications de la NF EN 1998-1-3 Annexe A.4.4.3. On rappelle ci-dessous :

Sections circulaires

Dans le cas des sections transversales circulaires totalement enrobées de bandes continues (et non de bandes discontinues ou ne recouvrant que partiellement la surface du poteau), la pression de confinement exercée par le composite est égale à :

$$f_l = \frac{1}{2} \rho_f E_f \varepsilon_{ju}$$

E_j : étant le module d'élasticité du composite

ρ_f : le rapport géométrique du chemisage de polymère renforcé de fibres par rapport à son épaisseur, avec :

$$t_f = \frac{\rho_f D}{4}$$

Où :

D est le diamètre du chemisage autour de la section transversale circulaire

t_f représente l'épaisseur du chemisage

Dans le cas d'un enrobage au moyen de bandes avec un espacement s_f , la pression de confinement effective (f'_l) prenant compte la géométrie de la section et du renforcement par Roccc+ est évaluée comme suit :

$$f'_l = k_k f_l$$

Avec

$$k_k = \left(1 - \frac{s_f}{2D}\right)^2$$

En fonction de la ductilité souhaitée de l'élément, il est alors possible de calculer la pression de confinement à atteindre. Le niveau de pression de confinement devant être appliqué dépend du rapport I_x entre la ductilité en courbure cible $\mu_{f,tar}$ et la ductilité en courbure disponible $\mu_{f,ava}$ et peut être calculée comme suit :

$$f_l = 0,4 I_x^2 \left(\frac{f_c \varepsilon_{cu}^2}{\varepsilon_{ju}^{1,5}} \right) \quad I_x = \left(\frac{\mu_{f,tar}}{\mu_{f,ava}} \right)$$

Où:

f_c : est la résistance du béton

ε_{cu} : est la déformation ultime du béton

$\mu_{f,tar}$: est la ductilité en courbure cible

$\mu_{f,ava}$: est la ductilité en courbure disponible, qui peut être évalué sur la base de la modélisation non linéaire de l'élément par une méthode Push Over qui permet d'obtenir le déplacement limite élastique et celui à la rupture.

Note : La pression de confinement minimale pour que le renfort permette un gain de ductilité est donnée par :

$$f'_l \geq \frac{0,4 f_c \varepsilon_{cu}^2}{\varepsilon_{ju}^{1,5}}$$

En effet, dans le cas contraire, le terme I_x devient inférieur à 1 et cela conduit à une réduction théorique de la ductilité, ce qui n'est pas observé expérimentalement.

La condition exprimée par l'équation précédente permet au final de déterminer l'espacement s_f à retenir pour un niveau souhaité de pression de confinement donc de ductilité.

Sections rectangulaires

Dans le cas des sections transversales rectangulaires dont les angles ont été arrondis (rayon R) afin de permettre l'enrobage par un polymère renforcé de fibres, la pression de confinement exercée par l'enveloppe de polymère est évaluée comme suit :

$$f'_l = k_s f_l$$

Avec

$$k_s = \frac{2R_c}{D}$$

$$f_l = \frac{2E_f \varepsilon_{ju} t_f}{D}$$

Où

D est la plus grande largeur de section rectangulaire, soit h , hauteur de la section du poteau. R_c est le rayon des angles de la section après rectification.

Par ailleurs, pour les éléments de section rectangulaire (dont les angles ont été arrondis), l'Eurocode 8 partie 3 propose également une solution alternative qui consiste à calculer la capacité totale de rotation de corde (ou sa partie plastique) des éléments en béton sous l'action de charges cycliques.

Les équations suivantes (NF EN 1998-3) permettent ainsi le calcul de la rotation de corde ultime θ_{um} , de la rotation de corde élastique θ_y et de la rotation de corde plastique θ_{um}^{pl} (avec $\theta_{um} = \theta_{um}^{pl} + \theta_y$) de poteaux en béton armé soumis à des sollicitations cycliques :

$$\theta_m = \frac{1}{\gamma_{el}} 0,016(0,3^v) \left[\frac{\max(0,01; \omega')}{\max(0,01; \omega)} f_c \right]^{0,225} \left(\frac{L_v}{h} \right)^{0,35} 25^{\frac{\alpha_s \rho_{sx} f_{sw}}{f_c}} 1,25^{100\rho_d}$$

$$\theta_{pl} = \frac{1}{\gamma_{el}} 0,0145(0,25^v) \left[\frac{\max(0,01; \omega')}{\max(0,01; \omega)} f_c \right]^{0,3} f_c^{0,2} \left(\frac{L_v}{h} \right)^{0,35} 25^{\frac{\alpha_s \rho_{sx} f_{sw}}{f_c}} 1,275^{100\rho_d}$$

$$\theta_y = \phi_y \frac{L_v + \alpha_v z}{3} + 0,00135 \left(1 + 1,5 \frac{h}{L_v} \right) + \frac{\varepsilon_y}{d - d'} \frac{d_b f_y}{6\sqrt{f_c}}$$

Où :

- La valeur assignée à γ_{el} est :
 - Pour le calcul de θ_{um}
 - $\gamma_{el} = 1,5$ pour les éléments primaires
 - $\gamma_{el} = 1,0$ pour les éléments secondaires
 - Pour le calcul de θ_{um}^p :
 - $\gamma_{el} = 1,8$ pour les éléments primaires
 - $\gamma_{el} = 1,0$ pour les éléments secondaires
- h est la hauteur de la section transversale
- $L_V = \frac{M}{V}$ est le rapport moment/effort tranchant au droit de la section d'extrémité
- α_s est le coefficient d'efficacité du confinement des cadres aciers, qui peut être pris égal à

$$\alpha_s = \left(1 - \frac{S_h}{2b_0}\right) \left(1 - \frac{S_h}{2h_0}\right) \left(1 - \frac{\sum b_l^2}{6h_0b_0}\right)$$
 - b_0 et h_0 sont les dimensions du noyau confiné limité par l'axe des armatures de confinement
 - b_l est l'espacement entre axes des barres longitudinales (d'indice i) retenues latéralement par un angle d'étrier ou une épingle le long du périmètre de la section transversale
 - S_h est l'espacement de cadres
- $\rho_{sx} = \frac{A_{sx}}{b_w s_h}$ est le pourcentage d'armatures transversales parallèles au sens x de chargement
- f_c et f_{yw} sont respectivement la résistance à la compression du béton (MPa) et la limite d'élasticité des aciers (MPa)
- ρ_d est le pourcentage d'armatures diagonales dans chaque direction
- $\nu = \frac{N}{bh f_c}$
 - b largeur de la zone comprimée
 - N effort normal pris positif en compression
- ω et ω' sont les pourcentages mécaniques d'armatures longitudinales tendues (y compris les armatures d'âme) et comprimées, respectivement
- ϕ_y est la courbure à la limite élastique au droit de la section d'extrémité
- $\alpha_V = 1$ si fissuration d'effort tranchant précède la plastification en flexion au droit de la section d'extrémité ; $\alpha_V = 0$ dans les autres cas
- $\varepsilon_y = f_y / E_y$
- d_b diamètre moyen des armatures tendues
- d et d' hauteur utiles des armatures tendues et comprimées, respectivement.

L'apport du confinement par composite à la ductilité en courbure des éléments linéaires est calculé selon NF EN 1998-3 §A.4.4.3 : $l_x = \mu_{\phi, tar} / \mu_{\phi, ava}$ et $f_l' = \frac{0,4 f_c \varepsilon_{cu}^2}{\varepsilon_{ju}^{1,5}}$

Notations :

$\mu_{\phi, tar}$: ductilité en courbure cible

$\mu_{\phi, ava}$: ductilité en courbure disponible avant renforcement

f_l : pression de confinement par bandes ROCC+®p (cf ci-avant)

ε_{cu} : déformation ultime du béton non confiné

ε_{ju} : déformation ultime du ROCC+®p de confinement égale à 8‰

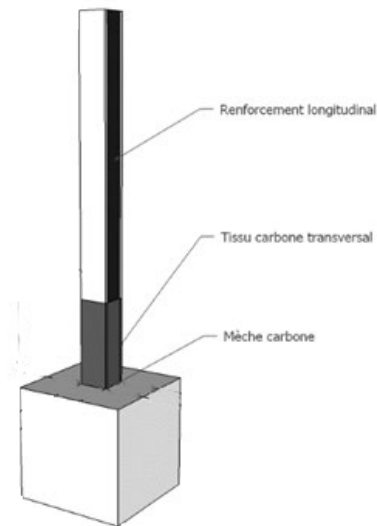
f_c : résistance du béton obtenue directement comme la valeur moyenne des essais in-situ et des sources d'information supplémentaires divisée par le coefficient de confiance approprié (tableau 3.1 de la NF EN 1998-3).

2.3.10.4.3 Dimensionnement du renforcement à la flexion par ROCC+®p

Les faces tendues de la structure sont renforcées avec des bandes de ROCC+®p collées. Ces armatures additionnelles passives augmentent la résistance vis-à-vis des moments de flexion.

Elles seront systématiquement accompagnées d'un confinement, de mèches ou de sur longueur permettant de garantir l'adhérence du tissu lors des cycles de chargement sismique.

La méthode de calculs applicable est identique à celle des § 2.3.5.1.3 et 2.3.5.1.4 ci-avant.



2.3.10.4.4 Dimensionnement du renforcement au cisaillement par ROCC+p®

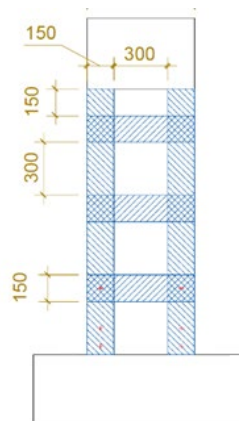
Le ROCC+p est collé sur les faces latérales et son action s'ajoute aux armatures en acier de la structure pour améliorer la résistance au cisaillement.

La contribution du composite se traduit par un terme supplémentaire de résistance au cisaillement V_{Rdf} .

On se reportera au §4.6 du guide de l'AFGC ou à la NF EN 1998-1-3 pour déterminer la valeur du terme supplémentaire de résistance dû au tissu composite ROCC+p. On rappelle ci-dessous :

$$V_{R,totale} = V_{Rd,s} + V_{Rd,f}$$

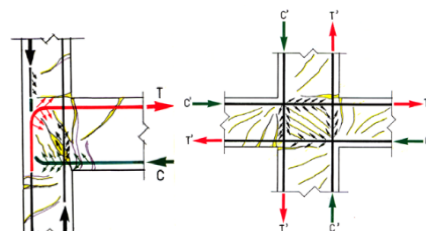
la résistance à l'effort tranchant d'une section en béton armé renforcée par un chemisage en matériaux composites ($V_{R,totale}$) est évaluée à partir de la contribution de la section en béton armé existante, $V_{Rd,s}$, et de la contribution du composite composite, $V_{Rd,f}$.



Il peut également être mis en œuvre pour améliorer la résistance des bielles de cisaillement qui se produisent dans les éléments courts.

2.3.10.4.5 Confinement d'un nœud par ROCC+p®

Conformément à la NF EN 1998-1 §5.5.3.3, les nœuds poteau-poutre doivent être justifiés vis-à-vis de la compression des bielles diagonales et de la traction transverse générés par la transmission des efforts entre éléments.



Nœud de rive - Nœud intermédiaire

Pour la détermination des efforts agissants sur le nœud, on se reportera à l'NF EN 1998-1 §5.5.2.3. La participation du composite ROCC+p® se traduit par l'ajout du terme traduisant la capacité en résistance du tissu dans les expressions (5.22) et (5.23) :

$$V_{jhd} = \gamma_{Rd}(A_{s1} + A_{s2}) \times f_{yd} + (A_{f1} + A_{f2}) \times f_{fu} - V_c \text{ expression (5.22) pour un nœud intermédiaire}$$

$$V_{jhd} = \gamma_{Rd}A_{s1}f_{yd} + A_{f1}f_{fu} - V_c \text{ expression (5.23) pour un nœud de rive}$$

Pour la vérification des résistances en compression du béton dans le nœud, on se reportera à l'EC8-1 §5.5.3.3 (2a) et (2b).

$$V_{jhd} \leq \eta f_{cd} \sqrt{1 - \frac{v_d}{\eta}} b_j h_{jc} \text{ expression (5.33) pour un nœud intermédiaire}$$

$$V_{jhd} \leq 0.80 \eta f_{cd} \sqrt{1 - \frac{v_d}{\eta}} b_j h_{jc} \text{ expression (5.33) pour un nœud de rive}$$

Pour la vérification du confinement horizontal et vertical du nœud, on se reportera à l'EC8-1 §5.5.3.3 (3) et (4) :

⇒ Alinéa (3), à l'expression (5.35), on ajoutera la participation du tissu à la résistance totale :

$$A_{sh} f_{ywd} + A_{fh} f_{fu} \leq \frac{\left(\frac{V_{jhd}}{b_j h_{jc}}\right)^2}{f_{ctd} + v_d f_{cd}} - f_{ctd}$$

⇒ Alinéa (4), on ajoutera la participation du tissu à la résistance totale :

$$A_{sh} f_{ywd} + A_{fh} f_{fu} \leq \gamma_{Rd}(A_{s1} + A_{s2}) f_{yd} (1 - 0.8v_d) \text{ expression (5.36a) pour un nœud intermédiaire}$$

$$A_{sh} f_{ywd} + A_{fh} f_{fu} \leq \gamma_{Rd}A_{s2} f_{yd} (1 - 0.8v_d) \text{ expression (5.36b) pour un nœud de rive}$$

Enfin, en application de l'alinéa (6), on prévoira une section minimale d'armatures verticales représentant 2/3 de la capacité des armatures horizontales suivant (5.37) de la NF EN 1998-3 :

$$A_{sv,i} f_{yd} + A_{f,v} f_{fu} \geq 2/3(A_{sh} f_{ywd} + A_{fh} f_{fwd})$$

2.4 Dispositions constructives générales, particulières

2.4.1 Introduction

Le procédé ROCC+p® respecte des dispositions constructives précises nécessaires pour un renforcement optimal des structures.

Ce chapitre détaille ces différentes dispositions constructives.

Le procédé ROCC+p® requiert un dimensionnement respectant l'ensemble des règles définies dans le présent document pour un renforcement de structure.

2.4.2 Configuration courante de renforcement

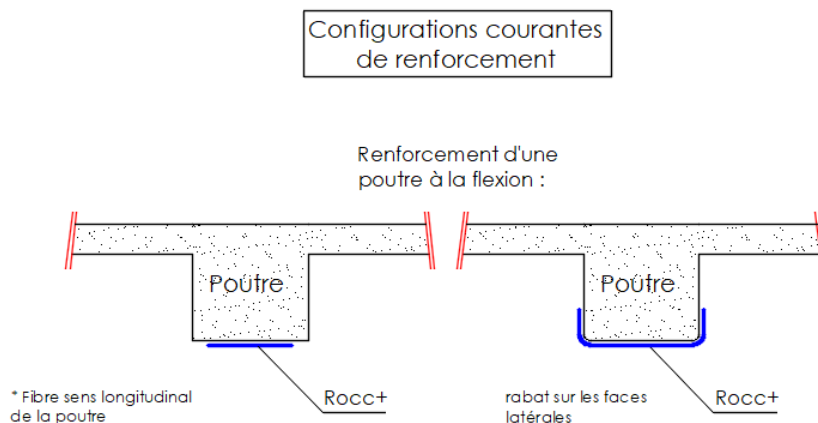


Figure 21 : Renforcement d'une poutre à la flexion

Renforcement d'une poutre au cisaillement :

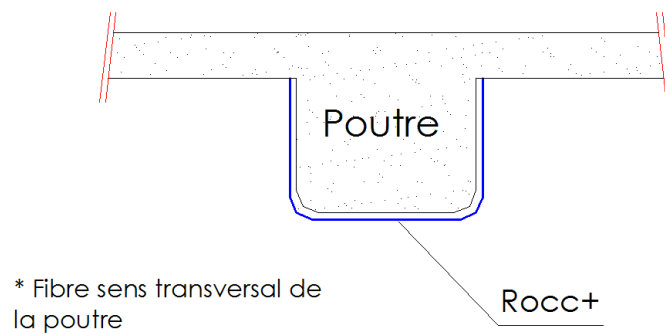


Figure 22 : Renforcement d'une poutre au cisaillement

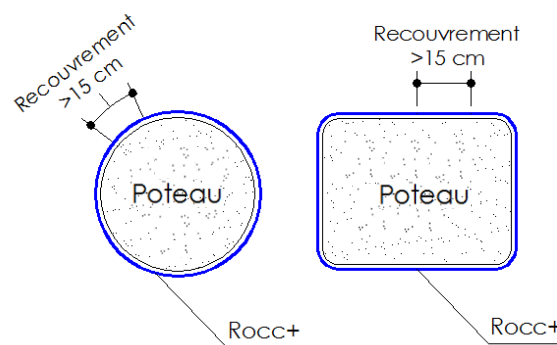


Figure 23 : Confinement d'un poteau

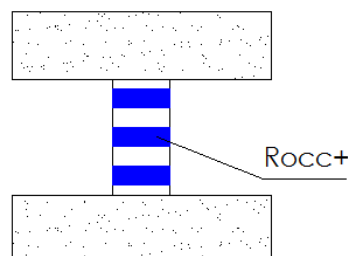


Figure 24 : Renforcement d'un poteau court par bandes continues

2.4.3 Règles constructives générales

2.4.3.1 Repérage et orientation des bandes

Le tissu de fibres est unidirectionnel, cent pour cent des fibres sont dans le sens longitudinal.

Le tissu est conditionné sous forme de rouleaux.

Dimensions :

- Epaisseur : 0,8 mm
- Largeur : 15, 30, 58 cm
- Longueur : 100 m

2.4.3.2 Superposition des couches et recouvrements

Bandes parallèles :

Bandes perpendiculaires :

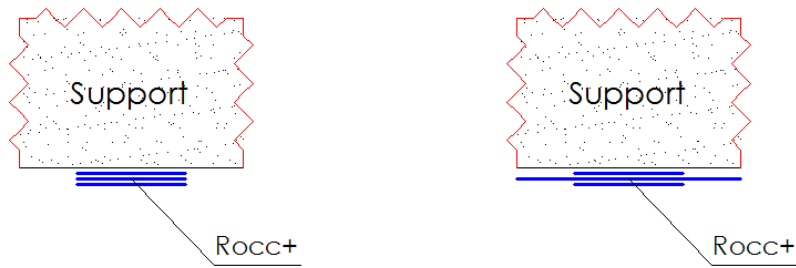
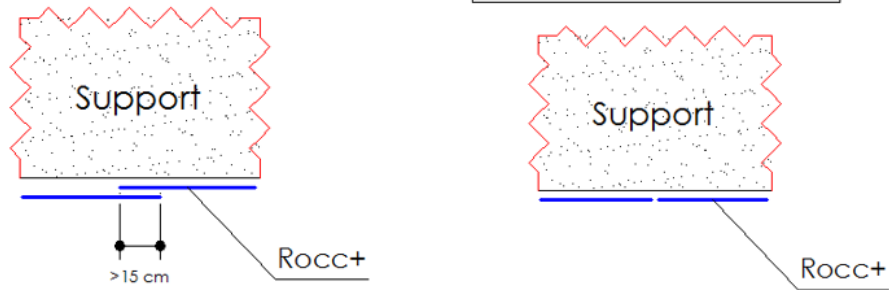


Figure 25 : Superposition des couches

Recouvrement longitudinal

Pas de recouvrement de bandes parallèles



Les bandes parallèles sont appliquées cote à cote. Recouvrir les bandes parallèles est inutile, le tissu étant unidirectionnel.

Figure 26 : Superposition avec et sans recouvrement

2.4.3.3 Arrêt des bandes et longueurs d'ancrages

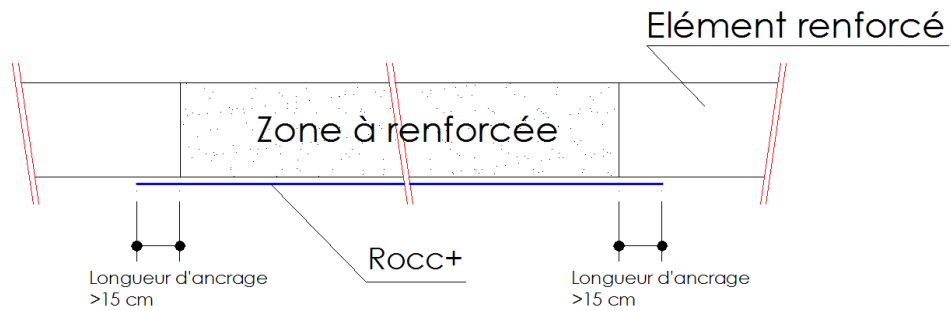


Figure 27 : Arrêt des bandes et longueurs d'ancrage

2.4.3.4 Traitement des arrêtes

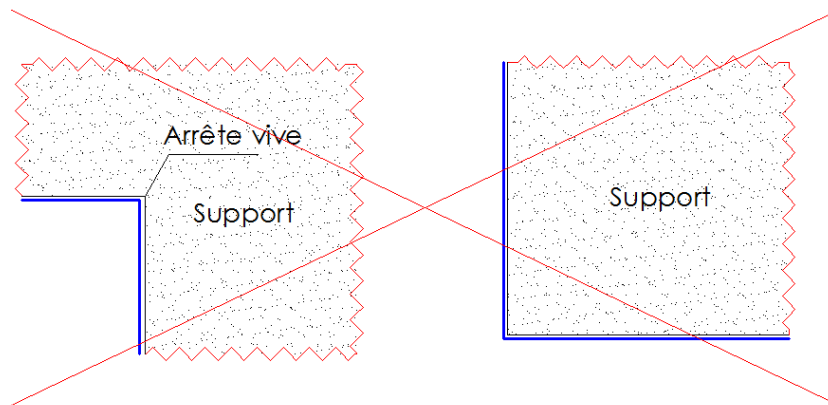


Figure 28 : Exemples de mauvais traitements

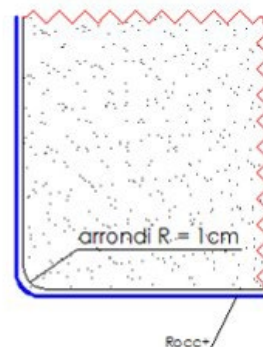


Figure 29 : Traitement d'angles

2.4.4 Les ancrages par mèche ROCC+P®

Lorsque la configuration du renforcement ne permet pas d'avoir la longueur de recouvrement nécessaire à l'arrêt de la bande ou lorsque l'adhérence de la bande sur le support n'est pas suffisante à l'ancrage ; nous disposons d'ancrage par mèches de carbone ROCC+P®.

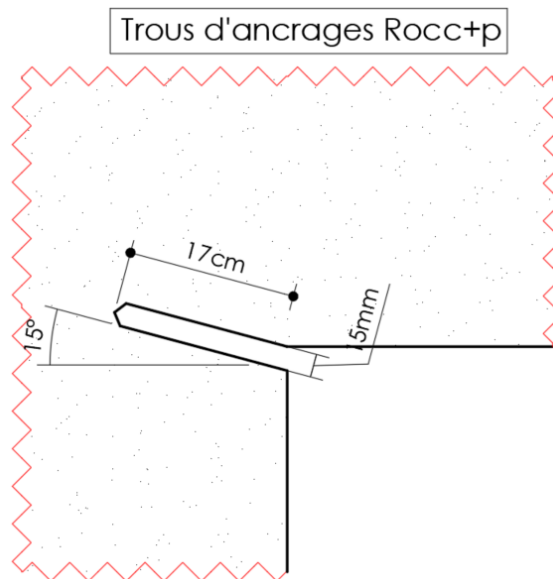
2.4.4.1 Description d'une mèche ROCC+P®

Une mèche ROCC+P® (cf. §2.2.3) est conçue à partir d'une bande de fibre de carbone de 30 cm de longueur et 5 cm de largeur. Les 15 premiers centimètres forment l'ancrage avec un cylindre de 1 cm de diamètre. Au centre du cylindre d'ancrage est placée une tige de scellement facilitant la manœuvre de scellement lors de la mise en œuvre de la mèche. Les 15 autres centimètres forment le fouet destiné à être liée à la bande de fibre de carbone par collage.

2.4.4.2 Mise en œuvre d'une mèche ROCC+P®

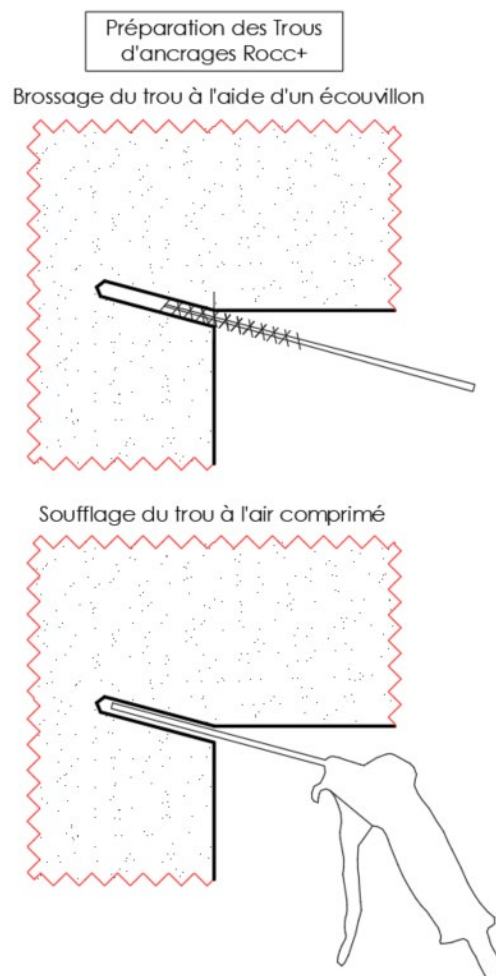
Préparation de support

La préparation de surface respecte les dispositions prévues au paragraphe 2.5.3.

Perçage :**Figure 31 : Trou d'ancrage mèche ROCC+P**

L'axe des trous est repéré puis le perçage est réalisé à l'aide d'un perforateur manuel. Le diamètre de la mèche de forage utilisée est de 15 mm. Le perforateur est équipé d'une butée de profondeur afin de respecter la profondeur de forage de 17 cm.

Les angles à l'extrémité du forage doivent être arrondis.

Préparation des trous d'ancrage :**Figure 32 : Préparation des trous d'ancrage ROCC+P**

Scellement de la mèche ROCC+P® :

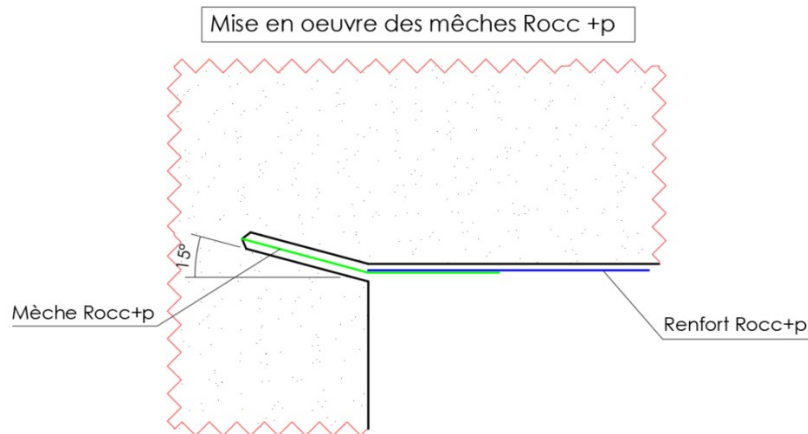


Figure 33 : Mise en œuvre mèche ROCC+P

En premier lieu la mèche est totalement imprégnée de résine ROCC+PR.

La mèche est scellée à l'aide de la résine ROCC+PR. La résine est injectée dans le forage.

Mise en œuvre du fouet :

Le fouet imprégné au préalable est appliqué sur la bande de tissu ROCC+P® en place à ancrer. L'encollage est réalisé à l'aide d'une spatule, en respectant le sens longitudinal des fibres.

L'angle de déviation des mèches est de maximum 15° .

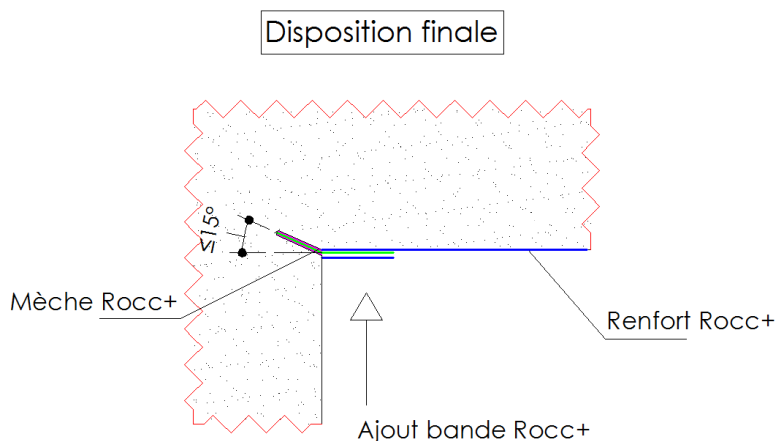


Figure 34 : Disposition finale d'une mèche ROCC+P

2.5 Disposition de mise en œuvre

Le procédé ROCC+P® est mis en œuvre exclusivement par GTM SUD et les filiales du groupe Vinci Construction, disposant des compétences et de l'expérience nécessaire, sous le contrôle et agréées par la direction de GTM SUD Travaux Spéciaux.

Elle 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.

2.5.1 Diagnostic de la structure

La performance du procédé ROCC+P® est liée à la connaissance de l'état d'endommagement de la structure et à la préparation soignée des surfaces à renforcer.

La structure à renforcer doit être bien caractérisée, pour quantifier la nature des efforts à reprendre. Les plans d'origine s'ils existent, des sondages le cas échéant ou des essais de charge permettent de connaître l'état et le comportement initial de la structure.

Pour déterminer la capacité du support à résister aux efforts d'arrachement, un essai du type Satec (norme NF P18-852), consistant à mesurer la résistance à la traction, est réalisé. Dans tous les cas, la rupture doit se produire dans le béton. La valeur mesurée, qui est représentative de la santé du support, doit être supérieure à $f_{tk} \geq 1,5$ MPa (suivant un nombre minimum de 3 essais).

Les fissures sont repérées. Après un diagnostic des causes de fissuration, il conviendra donc de prendre les mesures qui s'imposent. Dans le cas d'une structure en béton, si l'ouverture dépasse $3/10$ e mm, la fissure doit être traitée. Elle peut aussi être le signe d'un défaut d'enrobages des armatures, auquel cas la réparation est nécessaire (voir § 2.5.3.2).

2.5.2 Conditions d'acceptation du support

2.5.2.1 Critères géométriques

Même si le composite du procédé ROCC+P® a une grande capacité à épouser les formes les plus diverses, il convient de supprimer les défauts ponctuels du support tels que les petites épaufrures, les bullages ou les nids de cailloux. Le support doit respecter le critère de 5 mm sous la règle des 2 m et pas de rupture brutale >1 mm.

Si ces conditions ne sont pas respectées, il faut procéder à son ragréage ou à son reprofilage (voir § 2.5.3.1).

Si le renforcement doit être appliqué sur des arêtes vives, celles-ci doivent être cassées arrondies (voir § 2.4.3.4).

2.5.2.2 Propreté du support

La surface de collage doit présenter un état de propreté et de rugosité suffisant, afin d'offrir la meilleure adhérence possible. Le support doit être exempt de coulure de laitance, peinture, vernis, graisse et d'une manière générale, de tous corps organique ou végétal.

Les états de surface doivent être traités avant l'application du renforcement.

2.5.3 Travaux préparatoires

S'il s'agit d'un renfort sur béton jeune, ce dernier doit être âgé de 28 jours au minimum.

2.5.3.1 Ragréage et reprofilage des supports bétons

Les ragréages et reprofilages des supports doivent être exécutés selon la norme NF P 95-101 (Réparation et renforcement des ouvrages en béton et maçonnerie - Reprise du béton dégradé superficiellement).

2.5.3.1.1 Resurfaçage

Pour le resurfaçage de faible épaisseur, il est recommandé d'utiliser un mortier époxy (mortier de ragréage type Sikadur 41F précédé d'un primaire d'adhérence type Sikafloor 94) ou un liant hydraulique modifié (LHM) (mortier hydraulique prédosé avec fumée de silice du type Sikatop SF 126). Dans tous les cas, la surface totale de ragréage ne doit pas excéder 20% de la surface de collage.

Il est aussi envisageable d'ajouter du sable de silice à la résine afin de ragréer.

Les mortiers doivent être R4 selon la norme NF EN 1504-4.

2.5.3.1.2 Défauts locaux

Le bouchage des réservations de coffrage ou des défauts très locaux (< 4 cm², tel que le bullage de surface, peut être traité par un mastic époxy dur).

2.5.3.1.3 Traitements des fissures

Avant l'application du composite, les fissures d'ouvertures supérieures à 3/10 mm sont traitées avec une résine époxydique fluide (du type Sikadur 52 Injection) injectée à basse pression, conformément à la norme NF P 95-103.

2.5.3.2 Réfection de l'enrobage des armatures du support béton.

Certaines fissurations requièrent une attention toute particulière. Lorsqu'une fissure suit le tracé d'une armature passive, les aciers sont corrodés. Le volume de l'oxyde produit par cette corrosion peut mesurer jusqu'à 7 fois celui du métal dont il est issu, ce qui cause le phénomène de fissuration et peut provoquer l'éclatement du revêtement de béton.

L'acier d'armature attaqué sera dégagé sur toute sa périphérie et nettoyé avant de reconstituer l'enrobage. Le dimensionnement du renforcement doit être adapté, si l'estimation de la perte de section d'aciers s'avère trop importante.

Les réparations d'enrobages sont réalisées selon la norme NF P 95-101 : reprise du béton dégradé superficiellement.

2.5.3.3 Préparation de surface

Le décapage de surface peut être réalisé par :

- Sablage à sec (il conviendra de choisir un abrasif de sablage réglementaire et adapté, par exemple, Valsgrit 10/14 de granulométrie 0,5 à 2 mm) ;
- Sablage humide (le support peut être humide mais pas mouillé et doit respecter dans tous les cas un degré d'hygrométrie inférieur à 4 %) ;
- Hydro décapage (le support peut être humide mais pas mouillé et doit respecter dans tous les cas un degré d'hygrométrie inférieur à 4 %) ;
- Ponçage au disque diamanté (recommandé)

Il s'agit d'éliminer la couche de surface du béton et non de raboter celle-ci. La profondeur se limite à rendre visible la surface des agrégats constitutifs du béton.

Si le traitement utilise un procédé humide, un séchage du support est nécessaire.

Pour déterminer la capacité du support à résister aux efforts d'arrachement, un essai du type Satec (norme NF P18-852), consistant à mesurer la résistance à l'arrachement, est réalisé. Dans tous les cas, la rupture doit se produire dans le béton. La valeur caractéristique mesurée, qui est représentative de la santé du support, doit être supérieure à $f_{tk} \geq 1,5$ MPa (suivant un nombre minimum de 3 essais).

2.5.4 Mise en œuvre du renfort composite ROCC+p®

La préparation du support, avec ragréage et reprofilage le cas échéant, ayant été réalisée, le procédé ROCC+P® s'effectue dans les conditions suivantes :

2.5.4.1 Conditions d'applications

2.5.4.1.1 Conditions climatiques

La température ambiante doit être entre 10°C et 35°C. L'opération est effectuée par temps calme. Le poste de préparation des produits et du composite est situé à l'abri de la pluie.

2.5.4.1.2 Conditions du support

Le support doit présenter une température supérieure à 5°C. Pour éviter la condensation sur support, sa température doit être supérieure de 3 degrés à celle du point de rosée.

Les arrivées d'eau doivent être éliminées et le support est soigneusement dépoussiéré.

2.5.4.1.3 Documents nécessaires

Le renforcement doit avoir fait l'objet d'une note de calcul au préalable, grâce à laquelle un plan de pose sur chantier a été défini.

2.5.4.1.4 Stockage des matériaux

La résine doit être maintenue entre 2°C et 40°C.

2.5.4.2 Applications du procédé ROCC+P®

1e étape : Conformément aux plans, délimiter la zone à traiter, en marquant l'emplacement des renforcements sur la structure.

2e étape : Si nécessaire, le tissu de fibres est préalablement découpé aux dimensions souhaitées sur une table à l'aide d'une règle et d'un cutter à longue lame.

3e étape : Les deux composants de la résine sont livrés en kits prédosés. Ils doivent être mélangés dans les proportions définies par la fiche technique (2 volumes de résine pour 1 volume de durcisseur). Ce mélange s'effectue avec un malaxeur à vitesse lente de l'ordre de 200 à 300 tr/mn pendant environ 5 mn. La résine est prête lorsque l'on observe une couleur uniforme du mélange.

4e étape : Application au rouleau d'une première couche de résine (dite couche d'accrochage) sur le support. La quantité moyenne à appliquer est de 350 g/m².

5e étape : Imprégnation de résine dans le tissu de fibres. Cette opération est réalisée lors de l'application de grandes quantités de ROCC+P à l'aide d'un imprégneur à rouleaux. Le tissu sec passe entre les deux rouleaux de l'imprégneur. Ce système permet de maîtriser la quantité de résine pour former le composite et aussi de permettre une pénétration optimale du tissu de fibres. L'imprégnation du tissu peut également être réalisée à l'aide de couteaux et spatules.

6e étape : Le composite est appliqué sur le support, dans les emplacements prévus, en respectant le sens des fibres. Il est appliqué manuellement à l'avancement en prenant soin de ne pas créer de plis, ni d'étirement excessif.

Grâce aux propriétés thixotropes de la colle et à la légèreté du tissu, le renfort ne nécessite pas le maintien d'une pression d'application.

7e étape : On appuie fortement le composite sur le support avec un rouleau à maroufler et débuller. Cette étape permet l'élimination des bulles d'air à l'interface.

Remarque : Dans le cas de juxtaposition de lés, il faudra penser à laisser un espace d'environ 5 mm entre ceux-ci, afin de permettre l'évacuation de la colle excédentaire.

2.5.4.3 Pose en superposition

Plusieurs lés de composite peuvent être posés pour obtenir un renforcement plus important. Les bandes de tissus unidirectionnels peuvent également être croisées pour réaliser des renforcements bidirectionnels. Le nombre de lés superposés est défini par une note de calcul.

L'application des lés de composite superposés s'effectue de la même manière que le premier lé (étapes 5 à 7). Deux cas peuvent se présenter, selon l'état de la couche précédente :

- Résine humide non polymérisée : le tissu imprégné est appliqué directement sur la couche de fermeture du lé précédent.
- Résine durcie : soit on réalise un léger ponçage de la couche de fermeture à l'aide d'un papier abrasif anti-encrassant, en faisant attention à ne pas effiloche les fibres. Soit on réouvre la couche de fermeture à l'aide d'un diluant.

Avant application d'une nouvelle couche de résine de collage, les faces à coller sont dégraissées soigneusement.

2.5.4.4 Recouvrements

Un recouvrement de composites est nécessaire pour maintenir une continuité d'efforts lors d'un prolongement de renforcement. En particulier, les contraintes de chantier peuvent parfois entraîner une pose par phase sur la longueur totale du renfort. Dans ce cas, les dispositions liées à la superposition restent valables. Le recouvrement doit avoir une longueur minimum de 20 cm dans le sens des fibres, quelle que soit la largeur du tissu.

2.5.5 Eléments complémentaires

2.5.5.1 Revêtements de finitions.

Pour des raisons esthétiques ou de protection, le renforcement du procédé ROCC+P® peut être recouvert de produits annexes, peintures, mortiers ou enduit. Deux cas se présentent :

- Si le produit est compatible avec un support époxy, le renforcement peut être recouvert directement car la résine utilisée dans le procédé ROCC+P® est une résine époxydique.
- Si le produit n'est pas compatible avec un support époxy (mortier, enduit, ...), il faut créer un support minéral car l'adhérence d'un tel revêtement ne peut pas se faire directement. Pour cela, une couche de résine est appliquée sur le tissu polymérisé. Puis cette couche encore humide est sablée jusqu'au refus (granulométrie 0,3/1).

2.5.5.2 Traitements anti UV

Le traitement anti UV est assuré à l'aide d'un produit type NOVASOL N. L'application se fait sur le composite directement après collage. Il est possible d'appliquer le traitement anti UV sur le composite « sec » soit après ponçage superficiel de la résine soit après réouverture de la résine au diluant.

2.5.5.3 Hygiène et sécurité

Les tissus de fibres carbonées sont non réactifs. Cependant, ils doivent être manipulés avec soin car ils peuvent présenter de fines poussières irritantes de carbone à leur surface. Une attention particulière sera prise à l'égard des poussières irritantes dégagées lors de la découpe des tissus de fibres.

Les composants des résines époxydiques sont irritants et corrosifs. Il faut éviter les contacts avec la peau et les yeux. La concentration de vapeur de ces produits est susceptible de causer des irritations respiratoires. C'est pourquoi, le lieu d'application doit bénéficier d'une ventilation suffisante, naturelle ou mécanique. En cas d'utilisation en milieu clos, des masques respiratoires appropriés peuvent être portés.

Etant donné les risques de manipulation des produits, l'Équipement de Protection Individuel (EPI) comprend un casque, des gants résistants aux produits chimiques, des lunettes, une combinaison de protection et un masque respiratoire.

2.5.6 Contrôles lors de la mise en œuvre

Un plan d'organisation des contrôles est appliqué pour la mise en œuvre du procédé ROCC+p®. Il suit le schéma indiqué dans le tableau ci-après :

Des exemples de fiches de suivis sont donnés en annexe.

Le contrôle de collage à la caméra thermique permet de révéler les éventuels bullages.

Tableau 5 : Contrôles

Phase d'exécution	Nature des contrôles	Critère de conformité	Moyen de contrôle	Chargé du contrôle
Qualité du support	Essai d'arrachement	$f_{tk} \geq 1,5$ MPa suivant un nombre minimum de 3 essais	Dynamomètre de traction	CARC
Préparation du support	État général	Propre / sec	Visuel	CARC
	Planéité	5 mm / 2 m	Règle 2 m	
	Désaffleure	< 1 mm	Visuel	
Préparation du tissu	Dimension	Plans d'exécution	Mètre	CARC
	Quantité	Plan d'exécution	Mètre	
Préparation de la résine	Température	> 5 °C	Thermomètre	CARC
	Quantité	Note de calcul	Conditionnement	
	Temps de mélange	5 mn	Montre	
	DPU	2h30	Montre	
Application	Température	> 5°C	Thermomètre	CARC
Imprégnation du tissu	Température	> 5 °C	Thermomètre	CARC

Pose du composite	Sens des fibres	Plan d'exécution	Visuel	CARC
	Bon accrochage	Absence de bulles	Visuel	
Contrôle après exécution	Cure	> 70 mn à 2 jours	Dureté shore D	CARC
	Bulles	Absence de bulles	Sondage au marteau	

2.6 Assistance technique

L'Avis qui est émis prend en compte le fait que :

- La conception et le dimensionnement du renforcement sont effectués par des bureaux d'études agréés par GTM Sud et pour les renforcements sismiques par Vinci Structure Engineering,
- L'exécution des travaux étant effectuée exclusivement par GTM SUD et les filiales du groupe Vinci Construction, sous la responsabilité d'un chargé d'application de renforcement composite disposant des compétences et de l'expérience nécessaire disposant d'un diplôme de chargé d'application de renforcement carbone (CARC) obtenu après formation sous le contrôle et agréées par la direction de GTM SUD Travaux Spéciaux.

2.7 Principes de fabrication et de contrôle de cette fabrication

2.7.1 Contrôles de fabrication

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

2.7.2 Identification du produit

Les tissus sont identifiés par la désignation et les dimensions du produit, par un numéro de lot composé de la date de fabrication suivi d'un code de production. Cette désignation et numéro sont inscrits sur l'emballage de chaque rouleau de tissus et mèches. Il en est de même sur le conditionnement de la résine.

2.8 Mention des justificatifs

2.8.1 Résultats Expérimentaux


- Caractérisation du système ROCC+p® Phase 1-13 Essais sur poutres BA, LMC², Août 2021
- Caractérisation du système ROCC+p® Phase 1-2 Dureté shore D, LMC², Juin 2023
- ESSAIS sur composite Carbone : Détermination des caractéristiques mécaniques en traction de composite ROCC+p, LMC², Septembre 2023
- Caractérisation du système ROCC+p® Mesure de Tg, LMC², Mai 2023
- Caractérisation du système ROCC+p® 8 - Essais Pull out de mèches d'ancrage, LCM², Avril 2023
- Essais sur composite Carbone de cisaillement par double recouvrement sur composite ROCC+p®, LMC², Juin 2023
- Essais sur composite Carbone : Essai de cisaillement interlaminaire sur composite ROCC+p®, LMC², juin 2023
- Caractérisation du système ROCC+p® Essais d'Adhérence sur support béton, LMC², juin 2023.
- Essais sur composite Carbone : Détermination des caractéristiques mécaniques en traction de composite ROCC+p® Influence du vieillissement, Septembre 2023
- Essais sur composite Carbone : Essais mécaniques sur poteaux élancés renforcés par composite ROCC+p®, LMC², juin 2023
- Essais sur composite Carbone : Essais mécaniques sur voiles élancés renforcés par composite ROCC+p®, ; LMC² juin 2023
- Essai de renforcement parasismique, jonction poteau-poutre sur composite ROCC+p®, Mai 2023

2.8.2 Références chantiers

Année	Chantier	Type de travaux
2017	Tholonet	Renforcement de poutres et dalles
2018	Nîmes	Renforcement de voile
2019	Fréjus	Renforcement de poutres et dalles
2021	Marseille Tour H56	Renforcement d'un ensemble de poutres, de voiles et de dalles
2022	Marseille la Joliette	Renforcement de poutre en flexion et effort tranchant
2022	Roquebrune Hôtel Vista Palace	Renforcement de poutres et dalles
2023	Marseille Hôtel Bompard	Renforcement d'acrotère
2023	Saint-Paul lez Durance Bâtiment administratif d'ITER	Renforcement de voile
2023	Auriol	Renforcement dalle

2.9 Annexe du Dossier Technique

Modèle de fiche de suivi

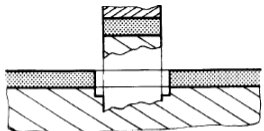
	Affaire:	
Maître d'Ouvrage:	Maître d'Oeuvre:	PCD FS ind.
FICHE DE SUIVI: ESSAI DE TRACTION DIRECTE N°: Date: Heure:		
selon Avis Technique 3/09-626 Norme EN (norme NF P18-852)		

Nature de l'ouvrage:	Zone de pose:
----------------------	---------------

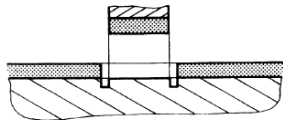
Numéro:	Ind:	Date:	Numéro:	Ind:	Date:
Numéro:	Ind:	Date:	Numéro:	Ind:	Date:

	Nom	Constat
Carottage autour de la pastille diam 50mm à l'aide de SIKADUR 30 colle		
Mise en place du dynamomètre de traction support parallèle à la pastille		
Valeur de rupture en daN de la pastille: daN		
Type de rupture obtenu:		

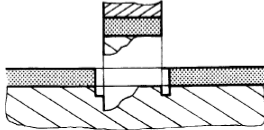
Rupture type 1
(plein béton)



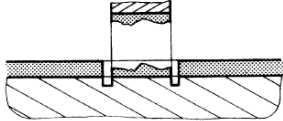
Rupture type 3
(décollement de la partie rapportée)



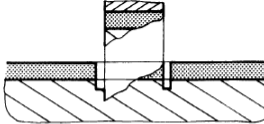
Rupture type 2a
(béton avec décollement partiel de la partie rapportée)



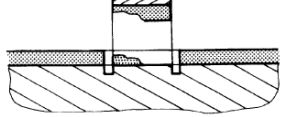
Rupture type 4a (rupture cohésive)
(dans la partie rapportée)



Rupture type 2b
(béton et partie rapportée)




Rupture type 4b
(dans la partie rapportée avec décollement partiel de la partie rapportée)



OBSERVATIONS:

Rappel du PAQ : consignes aux vérificateurs

Cas d'un contrôle négatif : le CARC inscrit ses constatations dans la case observations et informe son supérieur hiérarchique dans les plus brefs délais pour suite à donner

	Affaire: _____	PCD
Maître d'Ouvrage: _____	Maître d'Oeuvre: _____	FS Ind.
FICHE DE SUIVI: POSE DE COMPOSITE		
N°: _____	Date: _____	Heure: _____

Nature de l'ouvrage: _____ Zone de pose: _____ Numéro du lot résine: _____
 Numéro du lot durcisseur: _____
 Température ambiante: _____°C Hygrométrie ambiante: _____% Température du support: _____°C
 (sup. de 3°C au point de rosée)
 Réalisation d'échantillon pour dureté Shore identifié: _____u Point de rosée: _____°C

Documents ayant servi au contrôle:

Numéro: _____	Ind: _____	Date: _____	Numéro: _____	Ind: _____	Date: _____
Numéro: _____	Ind: _____	Date: _____	Numéro: _____	Ind: _____	Date: _____

	Nom	Constat
Contrôle du ragréage par sondage sonore	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Contrôle du ponçage	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Contrôle de préparation du tissu (longueur et largeur)	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Contrôle de l'encollage (surface totale traité)	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Contrôle de l'imprégnation (réglage encolleuse) consommation résine	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Contrôle de la préparation de la résine (temps de malaxage, température)	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Contrôle de la pose du composite (sens des fibres, absence de bulles)	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Contrôle thermique (surface de désordre < 15cm ²) Tracer en vert la situation des désordres sur le plan ci-contre)	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Contrôle thermique (surface de désordre > 15cm ²) Tracer en rouge la situation des désordres sur le plan ci-contre)	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Contrôle injection des désordres > 15cm ²	<input type="text"/>	<input type="text"/>

OBSERVATIONS:

Rappel du PAQ : consignes aux vérificateurs

Cas d'un contrôle négatif : le CARC inscrit ses constatations dans la case observations et informe son supérieur hiérarchique dans les plus brefs délais pour suite à donner

TABLEAU POINT DE ROSE :

		Température de l'air ambiant (en °C)										
		-6,67	-1,11	4,44	10	15,56	21,11	26,67	32,22	37,78	43,33	48,89
Humidité relative (en %)	90	-7,78	-2,22	2,78	8,33	13,89	19,44	25,00	30,56	36,11	41,66	47,22
	85	-8,33	-3,33	2,22	7,22	12,78	18,33	23,87	28,89	35,00	40,00	45,00
	80	-8,89	-3,89	1,11	6,67	12,22	17,22	22,78	27,78	33,89	38,88	43,33
	75	-9,44	-4,44	0,56	5,56	11,11	16,67	21,67	26,67	32,78	37,78	42,22
	70	-10,56	-5,56	-0,56	4,44	10,00	15,55	20,00	25,56	31,11	35,56	40,56
	65	-11,11	-6,67	-1,67	3,33	8,33	13,89	18,89	24,44	29,44	33,89	39,44
	60	-11,67	-7,22	-2,78	2,22	7,22	12,78	17,78	22,78	28,33	33,33	38,33
	55	-12,78	-8,33	-3,89	1,11	6,11	11,67	16,11	21,11	26,67	31,67	36,67
	50	-14,44	-9,44	-5,00	-0,56	4,44	10,00	15,00	19,44	25,00	30,00	34,44
	45	-15,56	-10,56	-6,11	-1,67	2,78	8,33	13,33	17,78	22,78	27,78	32,78
	40	-17,22	-11,67	-7,78	-3,33	1,66	6,11	11,11	16,11	20,56	25,56	30,56
	35	-18,89	-13,33	-8,89	-5,00	-0,56	4,44	8,89	13,89	18,33	23,33	28,33
	30	-21,11	-15,56	-10,56	-6,67	-2,22	2,22	6,67	11,11	16,11	20,56	25,00

Exemple :

Pour une température de 21,1 °C et une humidité relative de 65 %, le point de rosée est de 13,9 °C. Il faut appliquer un revêtement seulement si la température de la surface est supérieure d'au moins 3 °C à celle du point de rosée, soit 16,9 °C ($13,9\text{ °C} + 3\text{ °C} = 16,9\text{ °C}$).