

Sur le procédé

SIKAWrap

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

Titulaire(s) : **Société SIKA France SA**

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 |
|---------|--|------------|-----------------------------|
| V3 | <p>Cette version annule et remplace l'Avis Technique n°3.3/19-1005*V2.</p> <p>Elle intègre les modifications suivantes:</p> <ul style="list-style-type: none"> • l'utilisation du procédé pour le renforcement au moment fléchissant ; <p>l'utilisation des mèches d'ancrage dans les DROM-COM.</p> | PAYET Loïc | BERNARDIN-EZRAN Roseline |
| V2 | | PAYET Loïc | BERNARDIN-EZRAN Roseline |

Descripteur :

Procédé de renforcement d'éléments de structure, consistant à coller sur la surface des éléments visés un tissu de fibres de carbone à l'aide d'une résine époxydique synthétique à deux composants. Ce procédé est destiné à augmenter la capacité portante des éléments concernés, par fonctionnement mécanique conjoint élément-renfort, grâce à l'adhérence conférée par la résine après son durcissement, entre les deux matériaux. Le procédé SikaWrap peut être associé au procédé Sika CarboDur qui fait l'objet d'un Avis Technique en cours de validité.

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 sur le procédé | 5 |
| 1.2.1. | Aptitude à l'emploi du procédé | 6 |
| 1.2.2. | Durabilité - Entretien..... | 6 |
| 1.2.3. | Impacts environnementaux..... | 6 |
| 1.3. | Remarques complémentaires du Groupe Spécialisé..... | 7 |
| 2. | Dossier Technique..... | 8 |
| 2.1. | Mode de commercialisation..... | 8 |
| 2.1.1. | Coordonnées..... | 8 |
| 2.1.2. | Identification des composants | 8 |
| 2.2. | Description..... | 8 |
| 2.2.1. | Principe..... | 8 |
| 2.2.2. | Caractéristiques des composants | 8 |
| 2.2.3. | Produits complémentaires..... | 11 |
| 2.3. | Dispositions de conception..... | 16 |
| 2.3.1. | Loi de comportement des matériaux..... | 16 |
| 2.3.2. | Caractéristiques de calcul des composites..... | 17 |
| 2.3.3. | Longueur d'ancrage et cisaillement admissible à l'interface composite/béton | 19 |
| 2.3.4. | Longueur de recouvrement du composite | 19 |
| 2.4. | Dimensionnement..... | 20 |
| 2.4.1. | Justification à la rupture..... | 20 |
| 2.5. | Calcul du renforcement selon BAEL 91/99 | 20 |
| 2.5.1. | BAEL 91/99 - Renforcement en flexion du béton armé | 20 |
| 2.5.2. | BAEL 91/99 - Renforcement en flexion du béton précontraint..... | 22 |
| 2.5.3. | Renforcement à l'effort tranchant - selon BAEL 91/99..... | 24 |
| 2.5.4. | BAEL 91/99 - Renforcement des poteaux en béton armé vis-à-vis de leur capacité en compression (confinement) 26 | 26 |
| 2.6. | Calcul suivant le référentiel TR55 (Eurocode 2) | 28 |
| 2.6.1. | Généralités..... | 28 |
| 2.6.2. | Notations..... | 29 |
| 2.6.3. | TR-55 (Eurocode 2) - Renforcement en flexion du béton armé..... | 30 |
| 2.6.4. | TR-55-Eurocode 2 - Renforcement en flexion du béton précontraint..... | 32 |
| 2.6.5. | TR-55-Eurocode 2 - Renforcement à l'effort tranchant..... | 33 |
| 2.6.6. | TR- 55 (Eurocode 2) - Renforcement des poteaux en béton armé vis-à-vis de leur capacité en compression (confinement)..... | 36 |
| 2.7. | Dispositions de mise en œuvre..... | 38 |
| 2.7.1. | Dispositions constructives..... | 38 |
| 2.7.2. | Travaux préparatoires..... | 38 |
| 2.7.3. | Préparation du support pour renforts PRFC collés en surface (tissus)..... | 39 |
| 2.7.4. | Cohésion superficielle du support après préparation du support..... | 39 |
| 2.7.5. | Aspect de surface après décapage..... | 39 |
| 2.7.6. | Conditions générales d'application..... | 39 |
| 2.7.7. | Conditions de réception du support | 40 |
| 2.7.8. | Méthodologie de mise en œuvre | 40 |
| 2.7.9. | Prescriptions de mise en œuvre particulières des tissus SikaWrap® | 40 |

| | | |
|---------|---|----|
| 2.7.10. | Prescriptions de mise en œuvre particulières pour les mèches SikaWrap® -FX 50C..... | 43 |
| 2.7.11. | Finition et Protection des procédés SikaWrap®..... | 44 |
| 2.7.12. | Contrôle des travaux | 45 |
| 2.8. | Maintien en service du produit ou procédé..... | 45 |
| 2.9. | Traitement en fin de vie..... | 46 |
| 2.10. | Assistante technique | 46 |
| 2.10.1. | Assistance technique lors du dimensionnement | 46 |
| 2.10.2. | Qualification de l'entreprise applicatrice des procédés SikaWrap® | 46 |
| 2.10.3. | Démarrage de chantier | 46 |
| 2.11. | Principes de fabrication et de contrôle de cette fabrication | 46 |
| 2.12. | Mention des justificatifs | 46 |
| 2.12.1. | Références chantiers | 47 |
| 2.13. | Annexe du Dossier Technique | 48 |
| 2.13.1. | Annexe 1 – Caractéristiques des composites SikaWrap®..... | 48 |
| 2.13.2. | Annexe 2 – Contrôle du risque de condensation sur le support..... | 49 |
| 2.13.3. | Annexe 3 – Fiches de contrôle interne à l'entreprise | 51 |

1. Avis du Groupe Spécialisé

Le procédé décrit au chapitre 2 « Dossier Technique » ci-après a été examiné par le Groupe Spécialisé qui a conclu favorablement à son aptitude à l'emploi dans les conditions définies ci-après :

1.1. Domaine d'emploi accepté

1.1.1. Zone géographique

L'Avis est émis pour les utilisations en France européenne et dans les DROM-COM.

1.1.2. Ouvrages visés

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

Les éléments renforcés par le procédé sont en béton armé ou précontraint.

Le procédé SikaWrap® est utilisé pour le renforcement en flexion, traction, effort tranchant et confinement des poteaux.

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).

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 en flexion doit être la même que celle prise pour le dimensionnement à l'effort tranchant.

En l'absence d'utilisation d'un dispositif permettant un ancrage total dans la table de compression, les vérifications vis-à-vis de l'effort tranchant ($V_{Rd,f}$) doivent être effectuées sur la section réduite de la poutre à renforcer (sans prise en compte de la table de compression cas des poutres de section 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 vis-à-vis de la torsion ou vis-à-vis de la traction pure (tirant ayant une fonction de suspension des charges) ne sont pas visés.

L'utilisation des procédés pour le renforcement des dallages, ainsi que pour le renforcement à l'effort tranchant des dalles, n'est pas visé dans le cadre du présent Avis Technique.

Le renforcement structural de radiers n'est pas visé car les risques d'endommagement des fibres du tissu sont trop importants.

Les utilisations autres que celles prévues au présent domaine d'emploi, notamment les renforcements d'éléments constitués de matériaux autres que le béton (maçonnerie ou bois et métal) ne font pas partie du champ du présent Avis.

L'augmentation des capacités résistantes par les procédés de renforcement est limitée aux actions variables au sens de la norme NF EN 1991-1.

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

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

L'utilisation du procédé sur un support ruisselant est exclue du domaine d'emploi.

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

- +45°C en pointe (durée ≤ 24h) et +35°C en service continu (durée > 24h) pour la résine Sikadur® - 330 associée avec les tissus SikaWrap®- 230C et SikaWrap®- 300C;
- +41°C en pointe (durée ≤ 24h) et +32°C en continu (durée > 24h) pour résine Sikadur®- 300 associée avec le tissu SikaWrap®- 600C.

Le procédé ne peut pas être utilisé dans les cas suivants :

- surface du béton de cohésion superficielle inférieure à $f_{tk} = 1,5$ MPa ;
- milieux chimiques fortement agressifs en l'absence d'essai de durabilité sur les matériaux composites.

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

1.2. Appréciation sur le procédé

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

1.2.1. Aptitude à l'emploi du procédé

1.2.1.1. Stabilité

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

1.2.1.2. Sécurité en cas d'incendie

1.2.1.2.1. Réaction au feu

En l'absence de Procès-Verbal de réaction au feu, les procédés sont non classés.

1.2.1.2.2. Résistance au feu

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

Lorsqu'une protection au feu est prévue par-dessus le système composite, elle devra justifier d'un essai de résistance au feu, effectué sur un support identique, par un Laboratoire agréé.

1.2.1.3. 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.

1.2.1.4. 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'entrent pas dans le champ du présent Avis. Le titulaire du présent Avis conserve l'entière responsabilité de ces informations et déclarations.

1.2.1.5. Conditions de mise en œuvre

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

Le personnel de l'entreprise mettant en œuvre le procédé doit justifier d'une formation spécifique à ce type de renforcement par le service technique de Sika.

1.2.1.6. Conditions de conception et de calcul

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

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

1.2.2. Durabilité - Entretien

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

Atmosphère agressive (type solvant, etc.)

Lorsque la température est susceptible de dépasser la température de pointe indiquée au paragraphe 1.1.2 (valeur de pointe : valeur dont la durée de maintien est inférieure à 24 heures) pour la résine utilisée.

En effet, pour la première restriction, la stabilité des caractéristiques mécaniques de la colle n'est pas démontrée. Pour la seconde restriction, la température de transition vitreuse des résines ne permet pas de dépasser une température en pointe de +45°C pour la résine Sikadur®- 330 et de +41°C pour la résine Sikadur®- 300.

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

1.2.3. Impacts environnementaux

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

1.3. Remarques complémentaires du Groupe Spécialisé

Le Groupe Spécialisé n°3.3 a fixé une limite de température en service continu de +35°C pour la résine Sikadur®-330 (associée aux tissus SikaWrap®-230C et SikaWrap®-300C) et +32°C pour SikaWrap®-600C. Ces valeurs ont été définies en fonction de la température de transition vitreuse des résines.

L'attention est attirée sur le fait que les Règles AFGC (Février 2011) relatives aux éléments renforcés par composites fixent une température minimale de service continu de -20°C.

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.

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.

Dans les Départements d'Outre-Mer, le caractère variable des conditions d'hygrométrie est tel que les valeurs constatées pour f_{tk} lors des essais de pastillage, servant d'hypothèses aux calculs du glissement à l'interface composite-béton, peuvent varier considérablement durant la vie de l'ouvrage. Pour cette raison, le Groupe spécialisé n°3.3 a jugé prudent d'affecter un coefficient de réduction de 0,6 à la valeur f_{tk} donnée par les essais de pastillage, en cas d'utilisation dans les Départements d'Outre-Mer.

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

Enfin, le Groupe Spécialisé 3.3 tient à souligner que l'utilisation des revêtements de protection décrits dans le Dossier Technique établi par le Demandeur ne permet pas de se dispenser du respect du Domaine d'emploi accepté, notamment pour les bâtiments industriels.

2. Dossier Technique

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

2.1. Mode de commercialisation

2.1.1. Coordonnées

Titulaire :
Société SIKA France S.A.S.
84, rue Edouard Vaillant
FR – 93350 LE BOURGET
Tél. : 01 49 92 80 00
Email : hotline@fr.sika.com
Internet : fra.sika.com

2.1.2. Identification des composants

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

- SikaWrap®-230 C : présentation en rouleau de largeur 300 ou 600 mm et de longueur 50 m. Chaque rouleau est identifié par un numéro imprimé sur l'emballage ;
- SikaWrap®-300C : présentation en rouleau de largeur 100, 300, 600 mm et de longueur 50 m. Chaque rouleau est identifié par un numéro imprimé sur l'emballage ;
- SikaWrap®-600C : présentation en rouleau de largeur 300 mm et de longueur 50 m. Chaque rouleau est identifié par un numéro imprimé sur l'emballage ;
- SikaWrap® FX-50C : présentation en carton-dévidoir contenant un cordon de longueur 25 m. Chaque cordon est identifié par un numéro de lot imprimé sur l'emballage ;
- Sikadur®-330 : livré en kit de 5 kg. Chaque kit est identifié par un numéro de lot imprimé sur l'étiquette ;
- Sikadur®-300 : livré en kit de 3,5 ou 20 kg. Chaque kit est identifié par un numéro de lot imprimé sur l'étiquette ;
- Sikadur®-52 : livré en kit de 1 ou 4 kg. Chaque kit est identifié par un numéro de lot imprimé sur l'étiquette ;
- Sika® Anchorfix®- 3030 : livré en cartouches. Chaque cartouche est identifiée par un numéro de lot imprimée sur l'étiquette.

2.2. Description

2.2.1. Principe

Le procédé SikaWrap® est utilisé pour le renforcement structural des structures par collage d'armatures additionnelles PRFC (Polymères Renforcés de Fibres de Carbone). Il est adapté aux travaux sur ouvrages neufs ou en rénovation, en béton armé et béton précontraint.

Ce procédé est utilisé en tant que renfort d'éléments de structures travaillant en flexion, à l'effort tranchant et à la compression (confinement de poteau).

Le procédé SikaWrap® se compose d'une gamme de tissus unidirectionnels de renforcement de structure, à base de fibres de carbone, applicables avec ou sans imprégnation préalable par une résine d'imprégnation et de collage de la gamme Sikadur®.

Le procédé SikaWrap® comporte également de mèches d'ancrage à base de fibres de carbone, utilisées en complément des tissus, appliquées avec imprégnation préalable par une résine de la gamme Sikadur® et ancrée dans les éléments en béton par une résine de scellement de la gamme Sika® Anchorfix®.

2.2.2. Caractéristiques des composants

2.2.2.1. Définition des composites

Le renfort composite PRFC, fabriqué in situ, est réalisé en associant un tissu SikaWrap® marouflé dans une résine Sikadur® bien définie. Chaque tissu doit donc être utilisé avec la résine spécifiée; le système ainsi formé ne peut faire l'objet d'aucune modification car les performances du PRFC dépendent à la fois du tissu et de la résine d'imprégnation. La gamme SikaWrap® se compose de 3 tissus qui se différencient par leur grammage et leur méthode d'application.

| Tissus | Composition | Grammage [g/m ²] | Primaire sur support béton | Résine |
|----------------|---|------------------------------|--|--------------|
| SikaWrap®-230C | UD 100% carbone, assemblées par tissage, applicable « à sec » (sans imprégnation préalable du tissu) | 230 | Aucun | Sikadur®-330 |
| SikaWrap®-300C | | 300 | | |
| SikaWrap®-600C | UD 100% carbone, assemblées par couture, applicable après imprégnation préalable du support et du tissu, dite « par voie humide » | 600 | Sikadur®-330 ou -300 selon rugosité du support, nombre de couches et/ou position de renforcement | Sikadur®-300 |

L'ancrage des bandes de tissus SikaWrap® peut être amélioré par les mèches SikaWrap® FX-50C, cordon de fibres de carbone unidirectionnelles enveloppé dans un film plastique. Ce cordon peut être découpé à la longueur souhaitée afin de réaliser une mèche d'ancrage in-situ. Les mèches SikaWrap® FX-50C sont imprégnées avec la résine Sikadur®-52, puis scellées et collées à l'aide de résines époxy Sika® Anchorfix®-3030.

2.2.2.2. Résines

Les adhésives époxydiques à deux composants, thixotrope ou liquide, conditionnés en kits prédosés.

Les adhésives bénéficient d'un marquage CE conformément à la norme NF EN 1504-4, 1504-5 et 1504-6.

| | Références normatives | Sikadur®-330 | Sikadur®-300 | Sikadur®-52 | Sika Anchorfix®-3030 |
|--|--------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|--------------------------------------|---|
| Agréments / Normes | | Marquage CE NF EN 1504-4 : Collage | Marquage CE NF EN 1504-4 : Collage | Marquage CE NF EN 1504-5 : Injection | Marquage CE : Produit d'ancrage pour scellements dans du béton fissuré / non fissuré, selon EAD 330499-00-0601, basé sur ETA 17/0694. Marquage CE : Produit d'ancrage pour scellements d'armatures de connexion, selon ETAG 001, Partie 1 et 5, édition 2013, utilisé comme EAD, basé sur ETA 17/0693. |
| Viscosité | ISO 3219 | Crème, 6000 mPas à 23°C | Fluide, 700 mPas à 23°C | Fluide, 430 mPas à 23°C | Pâte thixotropique |
| Durée pratique d'utilisation à +20°C | EN ISO 9514 | 60 min | 4 heures | 30 min | 30 min |
| Températures d'utilisation (produit, support, air) | | +10 à +35°C | +15 à +40°C | +5 à +30°C | +5 à +40°C |
| Consommation | | 0,7 à 1,5 kg /m ² | 0,6 à 1 kg /m ² | 0,1 à 0,3 kg /m ² | 0,1 à 0,3 kg /m ² |
| Résistance en Compression | EN 196, 7j à +21°C | ≥ 85 MPa | ≥ 75 MPa | ≥ 55 MPa | ≥ 85 MPa |
| Résistance en traction | NF EN ISO 527-3, 7j à +21°C | ≥ 30 MPa | ≥ 45 MPa | ≥ 37 MPa | ≥ 27 MPa |
| Module d'Elasticité en Traction | ISO 527, 7j à +21°C | 4 500 MPa | 3 500 MPa | 1800 MPa | 5500 MPa |
| Adhérence | EN 12188, 7j à +21°C sur acier | ≈ 31 MPa | ≈ 25 MPa | - | ≈ 21 MPa |
| Dureté Shore D | ISO-868, 48h à +21°C | ≥ 80 | ≥ 70 | ≥ 80 | ≥ 80 |

Caractéristiques des résines

2.2.2.3. Températures d'utilisation

Les valeurs présentées ci-dessous ont été définies sur la base des résultats d'essai selon NF EN 12614.

| Résine | Température de transition vitreuse Tg (°C) | Température de service continu (°C) (durée > 24h) | Température de pointe (°C) (durée ≤ 24h) |
|----------------------|--|---|--|
| Sikadur®-330 | +58 | +35 | +45 |
| Sikadur®-300 | +53 | +35 | +41 |
| Sikadur®-52 | +45 | +32 | +41 |
| Sika Anchorfix®-3030 | +51 | +50* | +70* |

* Les températures de service continu et de pointe de Sika Anchorfix®-3030 ont été définies et validées dans le cadre de ETA 17/0694 de 25/10/2021.

2.2.2.4. Tissus secs

| | SikaWrap®-230 C | SikaWrap®- 300 C | SikaWrap®- 600 C |
|---|--|------------------|------------------|
| Construction | UD / tissage | | UD / couture |
| | 99% de fil de chaîne en fibres de carbone et 1% de fil de trame en fibres thermoplastiques | | |
| Grammage [g/m ²] | 230 | 300 | 600 |
| Epaisseur de tissu t_f [mm] | 0,13 | 0,167 | 0,331 |
| Largeur [mm] | 300, 600 | 100, 300, 600 | 300 |
| Longueur [m] | Rouleau 50 m | Rouleau 50 m | Rouleau 50 m |
| Masse volumique de fibre [g/cm ³] | 1,8 | 1,8 | 1,8 |
| Résistances en traction de fibre sèche [MPa] | 4000 | 4000 | 3800 |
| Module d'Elasticité en Tension la Fibre Sèche [GPa] | 230 | 230 | 242 |
| Allongement à la Rupture de Fibre Sèche | 1,7 | 1,7 | 1,43 |

Propriétés des tissus SikaWrap

Les caractéristiques selon la norme ISO 527-5 des composites (résistance à la traction, module d'élasticité) sont données sur la base de l'épaisseur du tissu seul : cela permet de s'affranchir des surépaisseurs de résine inhérentes à la mise en œuvre in-situ et de rapporter les valeurs à une épaisseur fixe, connue et contrôlée.

| | SikaWrap®-230 C | SikaWrap®- 300 C | SikaWrap®- 600 C |
|---|-----------------|------------------|------------------|
| Epaisseur nominale t_f [mm] tissu sec | 0,13 | 0,167 | 0,331 |
| Module d'élasticité, valeur moyenne, E_f [GPa] | 225 | 225 | 235 |
| Module d'élasticité, valeur caractéristique, E_{fk} [GPa] | 220 | 220 | 200 |
| Contrainte de traction à la rupture, valeur moyenne, f_{fu} [MPa] | 3500 | 3500 | 3000 |
| Contrainte de traction à la rupture, valeur caractéristique, f_{fk} [MPa] | 3200 | 3200 | 2400 |
| Allongement à la rupture valeur moyenne, ε_{fu} [%] | 1,7 | 1,7 | 1,4 |
| Allongement à la rupture valeur caractéristique, ε_{fk} [%] | 1,56 | 1,56 | 1,33 |

Propriétés des composites SikaWrap®

2.2.3. Produits complémentaires

2.2.3.1. Préparation du support

Sikadur®-52

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

Sikadur®-53

Résine époxydique à deux composants sans solvant. Utilisée pour injecter les fissures du support avant le renforcement. Conforme à la norme NF EN 1504-4, 5 et 6.

Sikadur®-41+

Mortier époxydique à trois composants (résine, durcisseur, charges). Utilisé pour les réparations localisées du support. Classe R4 selon la norme NF EN 1504-3.

Sikadur®-30

Pâte époxydique de ragréage bicomposant. Permet les réparations sur de faibles épaisseurs. Conforme à la norme NF EN 1504-4 et 3.

Sika MonoTop®-4012F, -410R

Mortiers de réparation du béton, monocomposant, applicable manuellement ou par projection voie humide. Classe R4 selon norme NF EN 1504-3.

2.2.3.2. Produits de finitions

2.2.3.2.1. Revêtements de protection base Polymères

Il s'agit de revêtements à base de polymères destinés à assurer la protection du support béton et des composites SikaWrap®. Le maître d'œuvre détermine la couleur sur la base du nuancier RAL.

Sikagard®-675 W ElastoColor

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

Sikagard®-5500

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

Sikagard®-680 S BetonColor

Revêtement acrylique en phase solvant. Protection hautes performances, conforme à la norme NF EN 1504-2.

Sikagard®-63 N

Revêtement de protection, à base de résine époxydique bi-composante. Conforme à la norme NF EN 1504-2.

Sikafloor®-400 N Elastic

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

2.2.3.2.2. Revêtements de protection base ciment**SikaTop®-107 Protection**

Micro-mortier à base de liant hydraulique destiné à recouvrir les composites SikaWrap®. Protection vis-à-vis des rayons solaires directs, des ambiances environnementales agressives. Conforme à la norme NF EN 1504-2.

SikaTop®-121 Surfaçage

Mortier de surfaçage à base de liant hydraulique modifié destiné à recouvrir les composites SikaWrap®.

Protection vis-à-vis des rayons solaires directs, des ambiances environnementales agressives. Conforme à la norme NF EN 1504-2.

Sika FastFix®- 134 TP

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

2.2.3.3. Mèche d'ancrage SikaWrap® FX-50C**2.2.3.3.1. Principe de fonctionnement**

Le système d'ancrage SikaWrap® FX-50C est utilisé en combinaison avec les composites de renforcement SikaWrap®.

Il est engravé en forme d'étoile et scellé dans un trou du support béton avant d'être recouvert par le tissu de renforcement SikaWrap®.

Cet ancrage complémentaire permet d'augmenter l'adhérence du tissu SikaWrap® collé sur le support en béton, pour le cas de renforcement à l'effort tranchant de poutres.

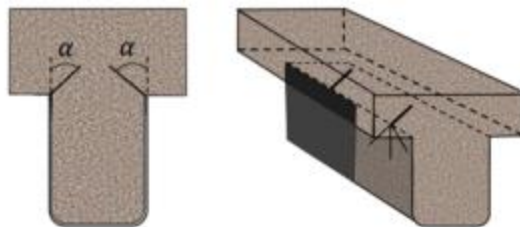


Schéma d'installation

2.2.3.3.2. Description du système d'ancrage

Le système se compose de l'ancrage SikaWrap® FX-50C et des produits époxydiques d'imprégnation et de scellement.

Il est mis en œuvre in-situ où il forme un composite PRFC de même nature que le tissu de renforcement SikaWrap®.

Les produits pour la mise en œuvre de l'ancrage SikaWrap® FX-50C :

| Produit | Utilisation |
|----------------------|---|
| Sikadur®-52 | Imprégnation de l'ancrage SikaWrap® et des encoches |
| Sika AnchorFix®-3030 | Scellement de l'ancrage dans le trou |
| Sika AnchorFix®-3030 | Collage de l'ancrage dans les encoches |

2.2.3.3.3. Caractéristiques de SikaWrap® FX-50C, fibres sèches

Configuration de la mèche composite

- Nombre de fils / diamètre / section : F13 (48K) / 10 mm / 28 mm² ;
- Masse linéique ≥ 50g/m ;
- Masse volumique : 1.82 g/cm³ ;

Caractéristiques de la fibre sèche (sens longitudinal)

- Contrainte en traction > 4000 MPa ;
- Module d'élasticité en traction > 240 000 MPa ;
- Déformation à la rupture $\geq 1,6\%$.

2.2.3.3.4. Caractéristiques du composite SikaWrap® FX-50C imprégné

Caractéristiques de l'ancrage SikaWrap® FX-50C imprégné avec Sikadur®-52, obtenu dans le sens longitudinal des fibres selon la norme EN 2561. Les valeurs ci-dessous sont issues des valeurs caractéristiques (fractile 5%), obtenues suivant la section nette des fibres (28 mm²) :

Contrainte de traction à la rupture de la section nette des fibres (28 mm²) : 2100 MPa ;

Module d'élasticité : 230 000 MPa ;

Allongement ultime : 0,90 %.

2.2.3.3.4.1. Ancrage composite SikaWrap®

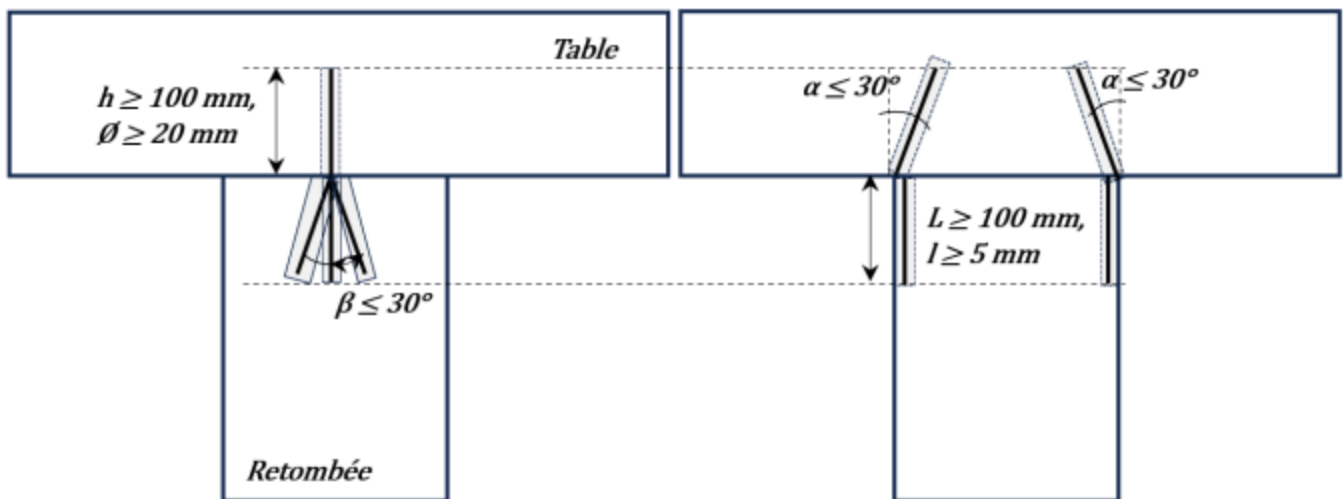
La valeur de l'effort repris pour augmenter l'ancrage du tissu SikaWrap® est donnée par des essais.

Pour la mise en œuvre des mèches SikaWrap® FX-50C, un trou de diamètre de 20 mm et de profondeur minimale de 10 cm doit être foré à sec dans la zone comprimée de la dalle avec un angle maximum de 30° (suivant la présence des armatures en place). Les angles extérieurs du trou doivent être arrondis à un rayon de 2 cm pour éviter tout dommage causé à la mèche (cisaillement, déchirure).

A partir du trou, au minimum trois encoches doivent être créées sur la retombée de la poutre avec les dimensions suivantes :

- Largeur : 8 - 10 mm
- Profondeur : 5 - 10 mm
- Longueur : 10 cm

Les produits pour la mise en œuvre de l'ancrage SikaWrap® FX-50C sont donnés dans § 2.2.3.3.2.



Ancrage SikaWrap® FX-50 C – cas d'une poutre en « T »

Les performances indiquées dans le tableau ci-dessous proviennent des essais de caractérisation pour un béton de classe de résistance minimale C25/30 :

| | SikaWrap® FX-50C |
|-----------------------------------|------------------|
| Effort de rupture valeur moyenne | 47,6 kN |
| Effort de rupture caractéristique | 44 kN |
| Effort de calcul aux ELU | 31,4 kN |

Le nombre de mèches par largeur de tissu est à définir par le bureau d'études en fonction de l'effort à reprendre, il est toutefois limité à 2 mèches pour une bande de tissu de 300 mm.

Principe de dimensionnement des mèches d'ancrage

La mèche d'ancrage SikaWrap® FX-50C est utilisée dans le cas où la hauteur utile de la poutre (pour un renforcement en U) ne permet pas de mettre en œuvre la section de tissu nécessaire au renforcement et donc de reprendre la totalité des efforts (longueur d'ancrage $l_{t,max} = 0$).

Le dimensionnement des mèches d'ancrage SikaWrap® FX-50C est réalisé à partir des efforts de calcul à l'ELU indiqués à §2.2.3.3.4 du présent dossier technique en fonction des efforts sollicitant à reprendre pour assurer l'ancrage total des composites. La poutre renforcée pouvant être justifiée sur la totalité de sa section (hauteur de table comprise).

La tenue à l'effort tranchant est assurée dès lors que : $V_{Ed} \leq V_{Rd,s,f} = \min \{V_{Rd,s} + V_{Rd,f}; V_{Rd,max}\}$

Où

- V_{Ed} est l'effort tranchant sollicitant ultime de la section considérée ;

- $V_{Rd,s,f}$ est l'effort tranchant résistant ;
- $V_{Rd,max}$ effort tranchant maximum pouvant être repris par la section avant écrasement des bielles de béton (§6.2.3 (3) EC2 1-1) ;
- $V_{Rd,s,f}$ - l'effort tranchant résistant définit comme suit :

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

Où $V_{Rd,s}$ est la contribution des armatures internes et $V_{Rd,f}$ la contribution du composite SikaWrap®.

Nombre de mèches par about d'une bande :

$$N = \frac{V_{Ed} - V_{Rd,s,f}}{\text{Effort de calcul SikaWrap FX-50C}}$$

Avec effort de calcul SikaWrap FX-50 C de 31,4 kN.

2.2.3.3.4.2. Ancrages de reprise des poussées au vide

Lorsque la mise en œuvre du système SikaWrap® induit une poussée au vide, la zone de déviation doit être munie d'un dispositif reprenant ces efforts. Le système pour reprendre la poussée au vide peut être composé des dispositifs mécaniques (chevilles métalliques sous forme de barres filetées ou les armatures de béton armé) scellées avec Sika Anchorfix®-3030. Le nombre de points d'ancrage, ainsi que leurs répartitions seront dimensionnés en fonction des efforts de déviation à reprendre.

L'effort de poussée au vide $F_{ancrage}$ est donné par la formule :

$$F_{ancrage} = 2 \times F_{fd} \times \sin \frac{\alpha}{2}$$

où F_{fd} est l'effort ultime dans la bande de SikaWrap® et α est l'angle de déviation, voir schéma ci-contre.

La résistance à la traction de l'ancrage conformément à l'ETE 17/0694 doit vérifier :

$$R_{ancrage} \leq F_{ancrage}$$

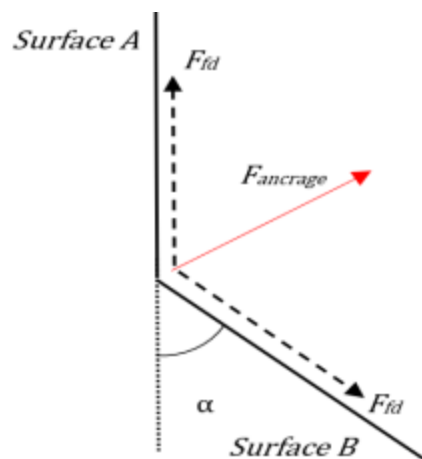
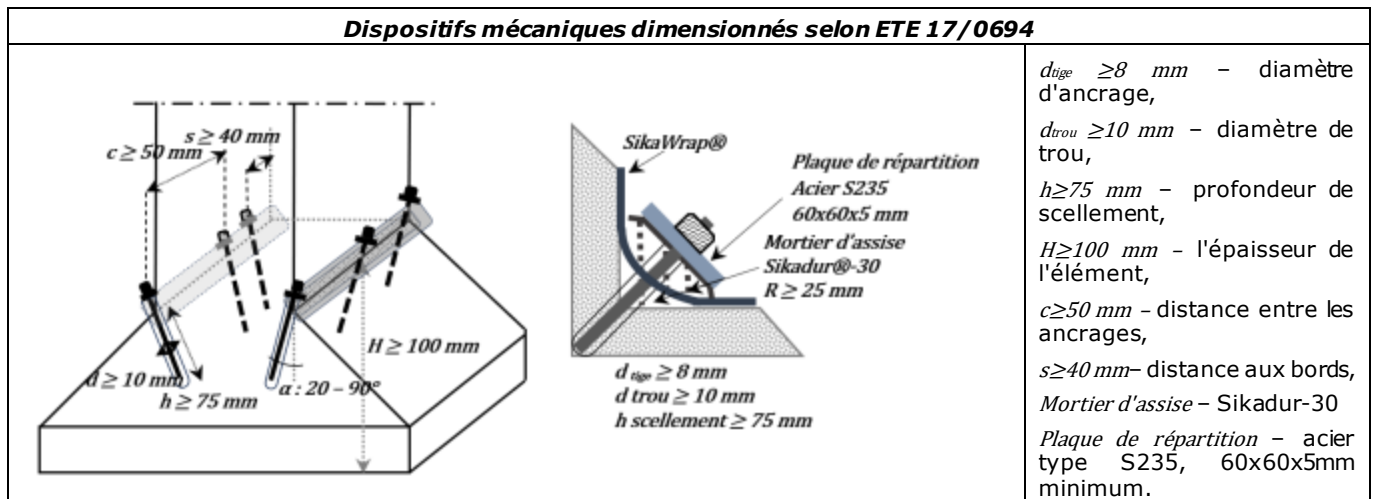


Schéma de calcul de poussée au vide

Les plaques métalliques auront pour dimensions minimales 60x60x5 mm. La nuance d'acier utilisée sera à minima de type S235. Les fixations métalliques suivants le cas sont protégées contre la corrosion par zingage, shérardisation ou sont en acier inoxydable de classe A2 ou A4. Elles sont classées vis-à-vis des diverses classes de corrosivité allant de C1 à Cx. L'utilisation de telles fixations relève du contrat en fonction des classes d'exposition auxquels est soumis l'ouvrage à réparer ou renforcer. Les ancrages seront dimensionnés conformément à l'ETE 17/0694.

La distance minimale par rapport aux bords et entre fixations doivent être conformes aux recommandations de l'ETE 17/0694.

Les armatures pour béton armé sont conformes aux référentiels existants pour les ouvrages neufs. Le contrat peut spécifier que les armatures pour béton armé bénéficient de la certification AFCAB ou équivalent. Le contrat peut également spécifier des armatures en acier inoxydable ou en acier galvanisé dans des parties d'ouvrages très exposées, en respectant les précautions d'usage (notamment la prise en compte du risque de corrosion galvanique : compatibilité entre les aciers existants et les aciers ajoutés, etc.).



Dispositifs de reprise de poussée au vide : dispositifs mécaniques dimensionnés selon ETE 17/0694

2.2.3.4. Durabilité du composite SikaWrap® -230C/Sikadur®-330

2.2.3.4.1. Tenue aux UV

Les essais ont été menés sur le système seul et sur le système revêtu des revêtements de la gamme Sikagard® (Sikagard®-550 W Elastic, Sikagard®-675 W ElastoColor, Sikagard®-680 S BetonColor). Deux tests ont été pratiqués : le Sun test- 1000 heures (UV seuls) et le QUV test - 3000 heures (UV et Chaleur Humide).

Résultats : Pas de dégradations observées. (Rapport d'essais interne n°33001-10 ; 01/2010)

2.2.3.4.2. Performances après 18 mois de vieillissement accéléré en enceinte climatique à 40°C et 95% HR.

Les matériaux seuls ainsi que l'assemblage béton/composite ont subi les essais suivants :

- Essais de cisaillement sur support béton
- Essai de traction directe (pastillage)
- Essais spécifiques sur la résine Sikadur®-330.

Les mesures ont été faites à intervalles réguliers afin de suivre l'évolution des performances des matériaux et de leur assemblage.

Résultats : après 18 mois sous les conditions climatiques de l'essai, les performances des assemblages sont conservées - passage d'un mode de rupture cohésive dans le béton à un mode adhésif/cohésif dans la colle et/ou interface (Rapport LCPC-LRPC Autun n°20 112-B, Février 2010).

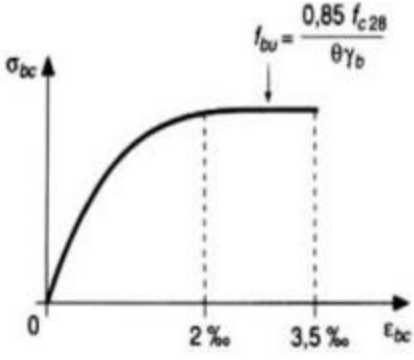
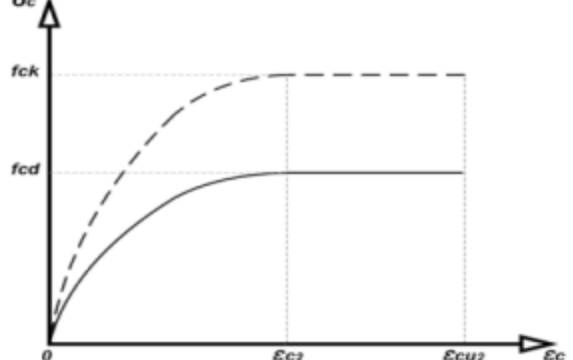
2.2.3.4.3. Durabilité du composite SikaWrap® FX-50C

- Le composite d'ancrage SikaWrap® FX-50C ainsi que les résines d'imprégnation et / ou de scellement, collage ont subi les essais suivants :
 - L'évaluation de la résistance à l'arrachement via le test pull out modifié du système d'ancrage SikaWrap® FX-50C dans les conditions suivantes :
 - après 35 jours de conservation dans les conditions normales (+20°C/60%RH), selon EN 1542 ;
 - après 50 cycles d'immersion composés de : 2 heures à -15°C dans NaCl suivies de 2 heures à +21°C, selon EN 13687-1;
 - après 50 cycles d'immersion composés de : 5 heures 45 minutes à +60°C suivies de 15 minutes à +10°C, selon EN 13687-2.
 - Résultats : la résistance à l'arrachement est conservée (Rapport ITB-KOT-2019/0415 établi par Instytut Techniki Budowlanej).
- La durabilité des résines d'imprégnation, de collage et de scellement :
 - Le rapport 1201/488/18-26/03/2019-MPA de IBMB de 2019 porte sur l'évaluation selon EN 1504-5 de la durabilité de résine Sikadur-52 Injection. Conformément à EN 12618-2, la durabilité de produit est « satisfaisante » après 24 cycles d'immersion / séchage à +21°C selon EN 13687-3.
 - Le rapport d'essais TFB AG n°232424-03 de TFB AG de 2023 porte sur l'évaluation de la durabilité de Sika Anchorfix®-3030 après 400 cycles selon SN 640 464 / VSS 40 464: 2019. Conforme aux exigences de la norme, la résistance de Sika Anchorfix-3030 aux cycles gel - dégel est considéré comme étant « très élevée ».

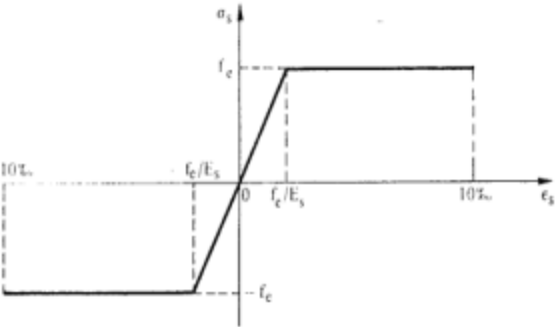
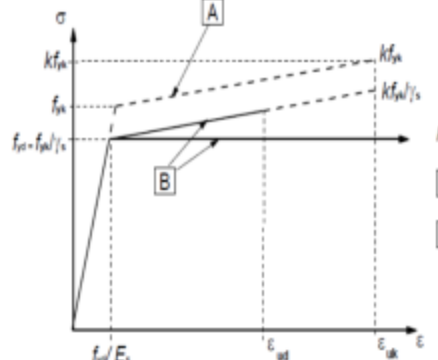
2.3. Dispositions de conception

2.3.1. Loi de comportement des matériaux

2.3.1.1. Béton

| selon BAEL 91/99 | selon Eurocode-2 |
|---|---|
|  |  |
| <p>Le béton est caractérisé par sa résistance de calcul f_{bu}</p> $f_{bu} = \frac{0,85 \cdot f_{c28}}{1,5}$ | <p>La valeur de la résistance du béton en compression de calcul est donnée par la formule :</p> $f_{cd} = \alpha_{cc} \frac{f_{ck}}{\gamma_c}$ <p>$\alpha_{cc} = 1$ Valeur utilisée pour l'Annexe Nationale française (valeur recommandée pour les bâtiments). Le coefficient α_{cc} tient compte de l'effet défavorable de la durée d'application des charges.</p> <p>$\gamma_c = 1,2$ pour les situations accidentelles ; $\gamma_c = 1,5$ dans les autres cas.</p> |

2.3.1.2. L'armature interne en acier

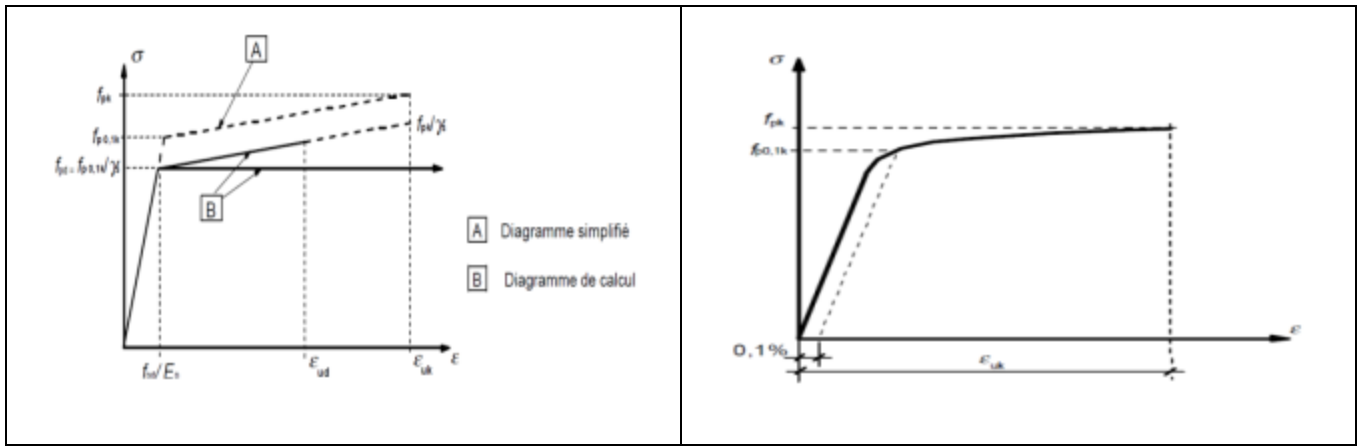
| selon BAEL 91/99 | selon Eurocode-2 |
|--|---|
|  |  <p>A Diagramme simplifié B Diagramme de calcul</p> |
| <p>L'armature est définie par sa résistance de calcul f_{su} et par son diagramme de calcul avec palier de plasticité :</p> $f_{su} = \frac{f_u}{1,15}$ | <p>La valeur de la résistance à la traction de l'acier de calcul est donnée par la formule :</p> $f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_s}$ <p>$\gamma_s = 1$ dans les situations accidentelles ; $\gamma_s = 1,15$ dans les autres cas.</p> |

Loi de comportement de l'acier

2.3.1.3. Armatures de précontrainte

Dans le cas des armatures de précontrainte, plusieurs lois de comportement peuvent être utilisées (EC2-1-1 3.3) :

- la loi bilinéaire à palier horizontal [EC2-1-1 3.3.6 Fig.3.10] ;
- la loi bilinéaire avec raffermissement [EC2-1-1 3.3.6 Fig.3.10] ;
- une loi représentant le diagramme réel des armatures, sous réserve de lui appliquer le coefficient $\frac{1}{\gamma_s}$ au-delà de $f_{p0,1k}$ [EC2-1-1 3.3.6(7)]. Pour les torons, la loi du règlement antérieur (conforme à la figure [EC2-1-1 3.3.6 Fig.3.9] peut donc être reprise, elle est mentionnée sur la figure suivante :



Loi de comportement des armatures de précontrainte selon Eurocode-2

2.3.1.4. Composite

| Caractéristiques en traction pour les composites unidirectionnels selon recommandations AFGC: | |
|--|---|
| | Etat Limite Ultime : Contrainte limite de traction pour un calcul à l'ELU : |
| | $f_{fud} = 0,65 \frac{f_{fu}}{\gamma_{fd(ELU)}}$ |
| | Etat Limite de Service : Contrainte limite de traction pour un calcul à l'ELS : |
| | $f_{fda} = 0,65 \frac{f_{fu}}{\gamma_{fd(ELS)}}$ |

Loi de comportement de composite

La durabilité des renforcements est prise en compte par l'intermédiaire du coefficient 0,65 (effets liés au vieillissement des matériaux dans le temps).

- f_{fu} : contrainte moyenne de traction à rupture du composite PRFC ;
- γ_{fd} : coefficient partiel de sécurité, qui est fonction du type de PRFC et de l'Etat Limite considéré. Pour le composite SikaWrap :
 - γ_{fd} 1,4 à ELU,
 - γ_{fd} 2 à ELS.

2.3.2. Caractéristiques de calcul des composites

2.3.2.1. Caractéristiques selon recommandations AFGC

Les propriétés mécaniques du renfort composite (résistance à la traction, module d'élasticité) déterminées conformément à la norme ISO 527-5.

| Propriétés de calcul / Composites | SikaWrap®-230 C – Sikadur®-330 | SikaWrap®-300 C – Sikadur®-330 | SikaWrap®-600 C – Sikadur®-300 |
|---|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|
| Module d'élasticité, valeur moyenne, E_f | 225 000 MPa | 225 000 MPa | 235 000 MPa |
| Résistance moyenne en traction, f_{fu} | 3500 MPa | 3500 MPa | 2950 MPa |
| Allongement à la rupture valeur moyenne, ε_{fu} | 1,7 % | 1,7 % | 1,4 % |
| Résistance de calcul ELU, f_{fud} | 1625 MPa | 1625 MPa | 1370 MPa |
| Allongement de calcul ELU, ε_{fud} | 0,72 % | 0,72 % | 0,6 % |
| Résistance de calcul ELS, f_{fd} | 1138 MPa | 1138 MPa | 960 MPa |
| Epaisseur nominale, t_r [mm] tissu sec | 0,13 | 0,167 | 0,33 |

Caractéristiques des composites SikaWrap®

| Propriétés de calcul / Composites | SikaWrap®-230 C – Sikadur®-330 | | SikaWrap®-300 C – Sikadur®-330 | | | SikaWrap®-600 C – Sikadur®-300 |
|-----------------------------------|--------------------------------|-------|--------------------------------|------|-------|--------------------------------|
| | 300 | 600 | 100 | 300 | 600 | 300 |
| Largeur (mm) | 300 | 600 | 100 | 300 | 600 | 300 |
| Effort N_{ELU} [kN] | 63,4 | 126,8 | 27,1 | 81,4 | 162,8 | 135,6 |

Efforts N repris par les composites aux ELU

2.3.2.2. Caractéristiques en traction pour les composites unidirectionnels selon recommandations TR-55:

Le TR55 tient compte d'une combinaison de coefficients de sécurité qui s'appliquent sur les valeurs caractéristiques des composites afin de déterminer les valeurs de calcul. Le choix de ces coefficients est basé sur les propriétés suivantes :

- Matériau composite utilisé ;
- Méthode d'application/fabrication employée.

Les valeurs des coefficients partiels de sécurité pour le composite SikaWrap® sont données dans le tableau suivant :

| Composite PRFC | $\gamma_{FRP,E}$ | $\gamma_{FRP,m}$ | $\gamma_{FRP,\varepsilon}$ |
|----------------|------------------|------------------|----------------------------|
| SikaWrap® | 1,1 | 1,2 | 1,25 |

Coefficients partiels de sécurité du composite selon le TR 55

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

$$f_{fd} = \min[f_{fk} ; E_{fd} \cdot \varepsilon_{fd}]$$

Avec :

- $f_{fd} = \frac{f_{fk}}{\gamma_{FRP,mf}}$ - résistance de calcul du composite ;
- $E_{fd} = \frac{E_{fk}}{\gamma_{FRP,mE}}$ - module d'élasticité de calcul du composite ;
- $\varepsilon_{fd} = \frac{\varepsilon_{fk}}{\gamma_{FRP,m\varepsilon}}$ - déformation de calcul du composite ;
- f_{fk} - résistance caractéristique en traction du composite ;
- E_{fk} - module d'élasticité caractéristique du composite ;
- ε_{fk} - déformation caractéristique du composite en traction ;

Et :

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

Synthèse des caractéristiques de calcul des composites SikaWrap® :

| Propriétés de calcul / Composites | SikaWrap®-230 C – Sikadur®-330 | SikaWrap®-300 C – Sikadur®-330 | SikaWrap®-600 C – Sikadur®-300 |
|---|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|
| Épaisseur de calcul de composite t_r [mm], tissu sec | 0,13 | 0,167 | 0,33 |
| Module d'élasticité, valeur caractéristique, E_{fk} | 220 000 MPa | 220 000 MPa | 200 000 MPa |
| Résistance en traction valeur caractéristique f_{fk} | 3200 MPa | 3200 MPa | 2400 MPa |
| Allongement à la rupture valeur caractéristique, ε_{fk} | 1,56 % | 1,56 % | 1,33 % |
| Résistance de calcul ELU f_{fud} | 1616 MPa | 1616 MPa | 1212 MPa |

Caractéristiques de calcul des composites selon le TR 55

2.3.3. Longueur d'ancrage et cisaillement admissible à l'interface composite/béton

Cette vérification consiste à s'assurer que la contrainte de cisaillement à l'interface composite-béton n'excède pas la valeur de la contrainte limite de cisaillement. Cette valeur limite s'appuie dans tous les cas sur des essais de pastillage à effectuer in situ sur le support après préparation, dans l'état dans lequel il est destiné à recevoir le renforcement.

La valeur de la contrainte de cisaillement limite à retenir pour le dimensionnement est calculée de la manière suivante, à partir de la résistance caractéristique à la traction du support béton f_{tk} obtenue par les essais de pastillage :

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

La résistance moyenne à la traction du support béton f_{tk} doit être systématiquement vérifiée par des essais de pastillage réalisés en se basant sur la norme NF EN 1542, avant la mise en œuvre des renforts. Dans tous les cas, le procédé SikaWrap® n'est pas applicable si les essais de pastillage donnent une valeur de $f_{tk} < 1,5$ MPa.

La longueur d'ancrage minimale l_{anc} du SikaWrap®, pour un béton de résistance caractéristique $f_{ck} \geq 25$ MPa, est donnée dans le tableau suivant :

| l_{anc}, mm | SikaWrap®- 230C | SikaWrap®- 300C | SikaWrap®- 600C |
|---------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| | 100 | 100 | 130 |

Longueur d'ancrage minimal composite SikaWrap®

S'il n'est pas possible d'ancrer le composite sur la longueur d'ancrage de calcul $l_{anc,d}$, la contrainte de traction ne peut pas être égale à f_{fud} .

2.3.4. Longueur de recouvrement du composite

Un soin particulier doit être apporté à la zone de recouvrement du composite car elle assure l'ancrage du renfort. Dans tous les cas, il faut au moins 10 cm de longueur de recouvrement pli sur pli. Afin d'éviter toute rupture par décollement / cisaillement interlaminaire, la longueur de recouvrement doit satisfaire la condition suivante :

$$l_{rec} \geq \max \left\{ \frac{f_{fud} \cdot t_f}{\tau_{fd,d}}; 10 \text{ cm} \right\}$$

l_{rec} : longueur de recouvrement,

f_{fud} : contrainte limite en traction du renfort,

t_f : épaisseur du renfort,

$\tau_{fd,d}$: contrainte de cisaillement interlaminaire du renfort (16 MPa pour le SikaWrap®- 230C, 21 MPa pour le SikaWrap®- 300C et 32 MPa pour le SikaWrap®- 600C) :

| l_{rec}, mm | SikaWrap®- 230C | SikaWrap®- 300C | SikaWrap®- 600C |
|---------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| | 130 | 130 | 170 |

Longueur de recouvrement composite SikaWrap®

2.4. Dimensionnement

Le renforcement structural d'un ouvrage existant doit faire suite à un diagnostic préalable (détermination des capacités résistantes) aussi précis que possible, permettant de dimensionner et de mettre en œuvre les renforcements de manière pertinente.

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

Une section renforcée se comporte de la même manière qu'une section de béton armé classique ; le composite se comporte en armature externe. Ainsi, le dimensionnement du renforcement suit les règles de Eurocode 2, TR55 ou BAEL concernant les armatures en acier en les adaptant aux caractéristiques des matériaux composites. Pour cela, on complète ces règles avec celles fournies par les recommandations de l'AFGC.

Les hypothèses de calcul sont les suivantes :

- les sections planes restent planes après déformation (hypothèse de Navier-Bernoulli) ;
- le béton tendu est négligé dans l'équilibre des sections ;
- pas de glissement entre l'acier et le béton, ni entre le composite et le béton ;
- les diagrammes contrainte – déformation de calcul du béton, de l'acier passif et de précontrainte et du composite considérés sont ceux du paragraphe 2.3.1.

2.4.1. Justification à la rupture

Cette justification doit être réalisée dans tous les cas hors situation incendie, en prenant en compte la hauteur totale de la section de l'élément à renforcer (ex : pour une poutre en T, il convient de considérer la hauteur totale de la section avec la table de compression). Elle consiste en une vérification de l'élément à la rupture, toutes redistributions effectuées, et sans tenir compte du renforcement, sous la combinaison ELS rare (considérée conventionnellement dans les calculs comme combinaison ELU fondamentale) $G + Q_1 + \sum \Psi_{0i}Q_i$, où G représente la sollicitation due à la charge permanente et $\sum \Psi_{0i}Q_i$ celle due aux charges de courte durée d'application dites d'accompagnement de l'action de base Q_1 , y compris s'il y a lieu les charges climatiques et celles dues aux instabilités.

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

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

Avec, dans ces expressions :

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

2.5. Calcul du renforcement selon BAEL 91/99

2.5.1. BAEL 91/99 - Renforcement en flexion du béton armé

Les caractéristiques de calcul des composites sont conformes aux recommandations AFGC et sont présentées dans §2.3.2.1.

2.5.1.1. Vérification préalable de la structure

Avant renforcement, c'est-à-dire en tenant compte uniquement des armatures existantes en acier dans le béton armé et non de composite SikaWrap®, la structure doit reprendre la totalité des charges prévues (charges initiales et charges nouvelles) à l'E.L.U. sous combinaisons accidentelles, la résistance de calcul de l'armature en acier étant prise égale à la limite d'élasticité f_e .

2.5.1.2. Dimensionnement à l'E.L.U.

Les composites SikaWrap® sont caractérisés par leurs résistances de calcul f_{fud} et par le diagramme de calcul linéaire.

On retient la valeur approchée du bras de levier - z :

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

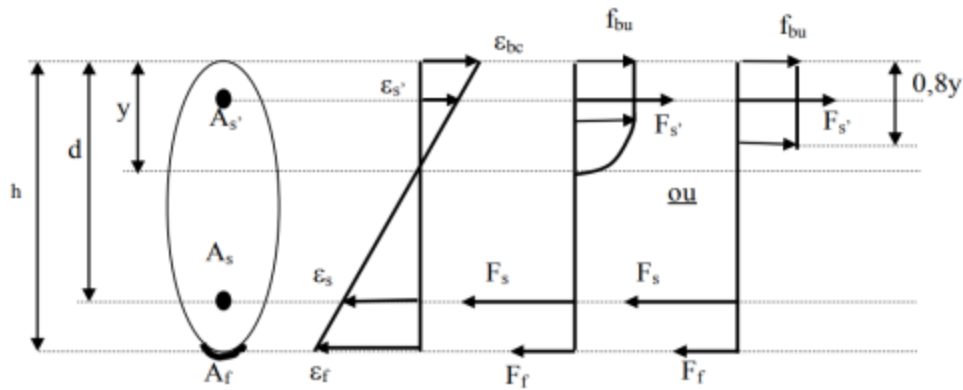


Diagramme de calcul d'une section

Nous notons :

- M_u = moment ultime ;
- M_{SOLL} = moment sous sollicitation à l'E.L.U. dans les cas courants ($S = 1,35 G + 1,50 Q$) ;
- b = largeur de la section ;
- y_u = hauteur comprimée du diagramme rectangulaire.

Le moment résistant du béton s'exprime par :

$$M_u = 0,8 \cdot b \cdot y_u \cdot f_{bu} \cdot (d - 0,4 \cdot y_u)$$

Comme $M_u = M_{SOLL}$, on peut calculer y_u . Cette dernière permet de déterminer l'effort dans le béton F_B :

$$F_B = 0,8 \cdot b \cdot y_u \cdot f_{bu}$$

Connaissant l'effort dans les armatures internes $F_S = A_S \cdot f_{su}$, l'équilibre $F_B - F_S - F_f = 0$ conduit à la valeur de l'effort dans le composite SikaWrap® :

$$F_f = 0,8 \cdot b \cdot y_u \cdot f_{bu} - A_S \cdot f_{su}$$

La section de composite SikaWrap® à retenir doit donc être supérieure à la valeur $\frac{F_f}{f_{fud}}$

$$A_f (mm^2) \geq \frac{F_f (N)}{f_{fud} (MPa)}$$

2.5.1.3. Vérifications des contraintes à l'E.L.S.

On calcule l'état de contrainte dans les deux phases :

- Phase 1 avant renforcement :

Charge initiales permanentes appliquées à la structure :

- Phase 2 après renforcement :

Nouvelles charges d'exploitation de la structure et éventuelles nouvelles charges permanentes.

On superpose les deux états de contraintes et on vérifie que les conditions définies ci-dessous pour une fissuration peu préjudiciable sous combinaison rare soient respectées :

- Béton $\sigma_{b,lim^1} + \sigma_{b,lim^2} \leq 0,6 \cdot f_{ct28}$
- Armatures acier
- Fissuration peu préjudiciable $\sigma_{s,lim^1} + \sigma_{s,lim^2} \leq f_e$
- Composite SikaWrap® $\sigma_{f,lim} = f_{fd}$

Avec

- σ_{b,lim^1} et σ_{s,lim^1} - les contraintes dans le béton et les armatures avant renforcement,
- σ_{b,lim^2} et σ_{s,lim^2} - les contraintes dans le béton et les armatures après renforcement.

*Dans les cas de fissuration préjudiciable ou très préjudiciable, la limite dans les aciers existants est celle définie dans les règles B.A.E.L. 91 :

Cas de la fissuration préjudiciable : la limitation prévue à l'article A.4.5.33 des Règles BAEL91 sous combinaison rare.

Cas de la fissuration très préjudiciable : la limitation prévue à l'article A.4.5.34 des Règles BAEL91 sous combinaison rare.

2.5.1.4. Vérification du cisaillement de glissement en flexion

Cette condition est prépondérante dans le cas des structures faiblement armées ou fortement renforcées pour tenir compte du risque de délaminage aux points qui concentrent un effort tranchant et un moment fléchissant importants.

On doit vérifier que la contrainte de cisaillement τ_u à l'interface entre le composite SikaWrap® et le béton n'excède pas la valeur de la contrainte limite de cisaillement $\bar{\tau}_u$ à l'ELU.

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

- V_u : effort tranchant appliqué à la section,
- F_f : effort de traction repris par le renfort PRFC SikaWrap® à l'ELU,

- F_s : effort de traction repris par les armatures longitudinales à l'ELU,
- b_f : largeur de tissu SikaWrap®,
- $\bar{\tau}_u$: contrainte limite de cisaillement à l'ELU. Cette valeur est calculée à partir des essais de pastillage (f_{tj} est la résistance caractéristique à la traction du support béton obtenue par les essais de pastillage).

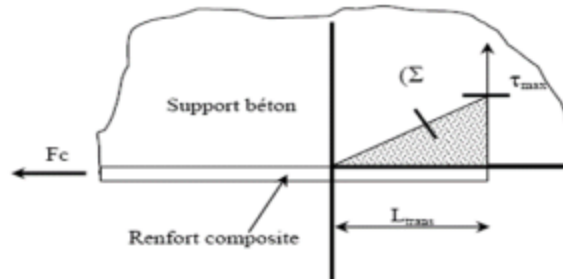
$$\bar{\tau}_u = \text{Min} \left(1,5 \text{ MPa}; \frac{f_{tj}}{1,5} \right)$$

2.5.1.5. Vérification du délaminage à l'extrémité du renfort PRFC SikaWrap®

La vérification du délaminage fait référence à celle proposée par les recommandations de l'AFGC (février 2011).

2.5.1.5.1. Vérification à l'ELS

On calcule l'effort repris dans le composite à l'état limite de service dans la section située juste après la zone de transfert (Σ sur la figure ci-après). Soit $F_{f,ELS}$ la valeur de cet effort.



Délaminage à l'extrémité du renfort

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

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

Avec :

$L_{anc,d} = 20$ cm et b_f la largeur du tissu SikaWrap®.

$\bar{\tau}_{u ELS}$ = contrainte limite de cisaillement à l'ELS.

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

$$\bar{\tau}_{u ELS} = \text{Min} \left(1; \frac{f_{tj}}{2} \right)$$

2.5.1.5.2. Vérification à l'ELU

On détermine l'épaisseur minimale de renfort nécessaire pour assurer la résistance en flexion à l'ELU de la section (Σ). Soit $t_{f,ELU}$ cette épaisseur.

Soit $F_{f,ELU}$ l'effort ultime correspondant dans le renfort :

$$F_{f,ELU} = f_{fud} \cdot b_f \cdot t_{f,ELU} \text{ (pour un pivot D)}$$

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

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

Avec :

- $l_{anc,d} = 20$ cm, et b_f la largeur du tissu SikaWrap®.
- $\bar{\tau}_u$: contrainte limite de cisaillement à l'ELU.

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

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

2.5.2. BAEL 91/99 – Renforcement en flexion du béton précontraint

2.5.2.1. Préambule

Les principes de justifications sont identiques à ceux développés dans le cas du béton armé sauf en ce qui concerne les états limite de service en flexion :

Pour la justification à l'état limite de service, il y a lieu de limiter la contrainte de traction à $0,8 \cdot f_{pk}$ dans les armatures de précontrainte (cas de la précontrainte adhérente) sous combinaison caractéristique.

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

BPEL 91 rev. 99 définit 3 classes de vérification en ELS, classées par ordre de sévérité décroissante, fonction de l'état de fissuration envisagé, du type d'ouvrage, de l'environnement.

- Classe I : concerne des ouvrages particuliers ou exceptionnels (parois étanches, réservoirs avec fluide dangereux, pièces sollicitées en fatigue, ...). Le béton est entièrement comprimé en tout point de la section : aucune contrainte de traction n'est admise.
- Classe II : destinée aux ouvrages exposés à une ambiance agressive et à ceux qui comportent des joints ; elle se caractérise par une contrainte de traction admissible.
- Classe III : intéresse essentiellement les éléments en atmosphère peu agressive (bâtiments courants).

2.5.2.1.1. Vérification de la flexion à l'ELS

Il faut superposer les états de contraintes avant et après renforcement (augmentation des charges).

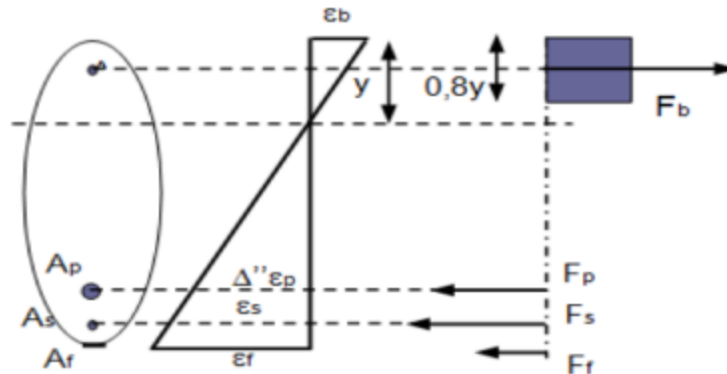


Diagramme des déformations limites d'une section

En classe II (BPEL Art 6.1,23)

La vérification en classe II s'applique aux éléments en béton précontraint à renforcer, dimensionnés à l'origine en classe I. Au moment du renforcement aucune traction dans le béton n'est admise : ($f_{t,j}=0$)

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

- Sous combinaisons rares : $f_{t,j}$ dans la section d'enrobage ; $1,5 \cdot f_{t,j}$ ailleurs
- Sous combinaisons fréquentes : 0 dans la section d'enrobage

En classe III (BPEL Art 6.1,24)

Le calcul est effectué sur la section fissurée : calcul en flexion composée en considérant l'historique du renforcement :

- Etat 1 : structure à l'état initial avant renforcement
- Etat 2 : application du chargement à la structure renforcée
- Etat 3 : structure à l'état final correspondant à superposition des états précédents (superposition des états de contraintes)

Contraintes normales admissibles dans les matériaux :

Contrainte de compression du béton :

- $0,6 \cdot f_{c,j}$ (ou $0,5 f_{c,j}$ sous combinaisons quasi permanentes)
- Contrainte admissible pour les aciers passifs

Sous combinaisons rares :

$$\xi = \min\left(\frac{2}{3} f_e ; \max(0,5 \cdot f_e ; 110 \sqrt{\eta \cdot f_{t,j}})\right)$$

Avec :

- ξ la contrainte limite en traction des armatures ;
- η le coefficient de fissuration des armatures passives (1,0 pour les ronds lisses, 1,6 pour les armatures HA).
- Sous combinaisons fréquentes : $0,35 f_e$
- Contrainte admissible pour les aciers de précontrainte : (exploitation)
- Sous combinaisons rares, la surtension dans les armatures de précontrainte est limitée à :
- $0,1 f_{prg}$ pour la précontrainte adhérente par post-tension
- $\min\{0,1 f_{prg} ; 150 \eta_p\}$ pour la précontrainte par pré-tension

Avec :

- f_{prg} la charge maximale à la rupture des armatures de précontrainte rapportée à la section nominale ;
- η_p le coefficient de fissuration des armatures de précontrainte (1,3 pour les torons et 1 pour les fils autres que ronds et lisses)
- Sous combinaison fréquente : la surtension dans les armatures de précontrainte est limitée à 100 MPa
- En combinaison d'exploitation : aucune traction n'est admise dans la section d'enrobage

- pour le composite SikaWrap® : $\sigma_f < f_{fd}$

Section minimale des renforts SikaWrap® :

Dans le cas des éléments précontraints par pré-tension, le calcul se fait sur la base de l'article 6.1.32 du BPEL.

La section minimale de renfort nécessaire dans les zones tendues est donnée par la formule :

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

Avec

- B_t : aire de la partie du béton tendu ;
- σ_{flim} : contrainte de traction admissible à l'ELS ;
- N_{Bt} : résultante des contraintes de traction ;
- σ_{Bt} : valeur absolue de la contrainte maximale de traction.

Ces quantités sont calculées sur la section non fissurée, en classe II et en classe III.

A_s et A_p étant respectivement la section des armatures passives et la section des armatures de précontrainte pré-tendues, dont la distance au parement en traction est inférieure à 5 cm ou les 2/3 de la hauteur du béton tendu.

2.5.2.2. Vérification de la flexion à l'ELU

Effort dans le béton :

$$F_b = 0,8 y_u \cdot b \cdot f_{bu}$$

Effort dans l'acier passif :

$$F_s = A_s \cdot f_{su}$$

Effort dans l'acier actif :

$$F_p = A_p \cdot E_p \cdot \Delta \cdot (\varepsilon_p / \gamma_p)$$

Avec $\gamma_p = 1,15$

Effort dans le composite SikaWrap® :

$$F_f = A_f \cdot E_f \cdot (\varepsilon_{fu} / \gamma_{fd})$$

Avec $\gamma_{fd} = 1,4$

A partir de la géométrie de la structure et des efforts dans les matériaux, vérifier que le moment sollicitant reste inférieur au moment résistant de la section.

2.5.3. Renforcement à l'effort tranchant - selon BAEL 91/99

2.5.3.1. Principe général

Le dimensionnement du renforcement des structures de béton armé par le procédé SikaWrap® doit être réalisé par un Bureau d'Etudes qualifié et expérimenté en calcul de structures. Le bureau d'études peut être interne ou externe à l'entreprise applicatrice des procédés.

Le principe de dimensionnement consiste à vérifier que, dans toute section de la structure où les armatures en acier existantes sont insuffisantes vis-à-vis de la reprise de l'effort tranchant, la contrainte atteinte dans le composite PRFC SikaWrap® est inférieure à sa contrainte ultime de résistance.

La section renforcée ou réparée avec le système SikaWrap® fonctionne de manière similaire à une section de béton armé classique ; le renfort PRFC SikaWrap® agit comme une armature passive externe en complément des armatures internes, afin de recoudre une fissure potentielle d'effort tranchant.

Les matériaux de renforcement ont un comportement élastique linéaire jusqu'à la rupture.

Les caractéristiques et la loi de comportement des composites SikaWrap® et de la mèche d'ancrage SikaWrap® FX -50C sont décrites dans § 2.3.1 et Annexe 1 – Caractéristiques des composites SikaWrap®.

2.5.3.2. Approche BAEL et Hypothèses

Le calcul de la contrainte dans le composite s'appuie sur une approche de type BAEL en retenant l'hypothèse du treillis de Ritter-Mörsch (inclinaison à 45° des bielles d'effort tranchant) et celle de Bresson qui fixe à 10 cm la longueur minimale de collage permettant de considérer la fissure inclinée à 45° comme cousue de manière efficace par le composite SikaWrap®. Ainsi, on ne prend pas en compte dans le calcul les derniers 10 cm à chaque extrémité du collage.

2.5.3.3. Contrainte dans le renfort composite

On admet par hypothèse que le composite doit équilibrer l'intégralité de l'effort tranchant non repris par le béton et les armatures existantes.

Si on note V_u l'effort tranchant ultime total dans la section de poutre considérée et V_{bat} l'effort tranchant ultime repris par la structure existante (contribution des armatures et du béton), l'effort tranchant V_f repris par le composite SikaWrap® s'exprime par :

$$V_f = V_u - V_{bat}$$

$$V_f = \frac{A_{ft}}{s_f} \times z_f \times \sigma_f \times (\sin\beta + \cos\beta)$$

Où

- A_{ft} représente la section utile du composite,
- s_f : espacement entre bandes de tissu,
- z_f : bras de levier de calcul du renfort,
- β : angle d'inclinaison du composite par rapport à la fibre moyenne du béton,
- σ_f : contrainte ultime dans le composite,

Les valeurs σ_f et z_f dépendent du type de renforcement :

| | | |
|---|--|------------------------------------|
| | | |
| $z_f = \min\{0,9 d; (h_f - L_{anc})\}$ $\sigma_f = f_{fud, \lim}$ | $z_f = \min\{0,9 d; h_f\}$ $\sigma_f = \max\left\{ \frac{F_{SikaWrap\ FX-50C}}{S_{SikaWrap\ FX-50C} \times t_f}; f_{fud, \lim} \right\}$ | $z_f = 0,9 d$ $\sigma_f = f_{fud}$ |

Avec :

d - hauteur utile des armatures existantes,

h_f - hauteur de la bande de renfort composite,

L_{anc} - longueur d'ancrage du renfort composite,

f_{fud} - contrainte limite de traction dans le renfort à l'ELU,

E_f - module d'élasticité de renfort, valeur moyenne,

ε_{fud} - allongement de calcul du renfort à l'ELU,

$F_{SikaWrap\ FX-50C}$ - la résistance de calcul d'ancrage d'une mèche à l'ELU,

$S_{SikaWrap\ FX-50C}$ - l'espacement des mèches,

t_f - épaisseur du tissu SikaWrap®,

$f_{fud, \lim}$ - contrainte ultime mobilisable dans le composite, calculée selon $f_{fud, \lim} = \left(\frac{L_{anc}}{t_f}\right) \times \tau_{cr}$, où τ_{cr} est la contrainte de glissement à l'interface béton/ renfort SikaWrap® sur la zone d'ancrage selon 2.5.3.3.3.

2.5.3.3.1. Section utile de composite

Dans une section donnée de la poutre à renforcer, la section utile du composite qui assure la reprise de l'effort tranchant est donnée par :

$$A_{ft} = 2t_f L$$

- L (mm) : longueur utile de collage (voir schéma ci-dessous),
- t_f : épaisseur de calcul du composite.

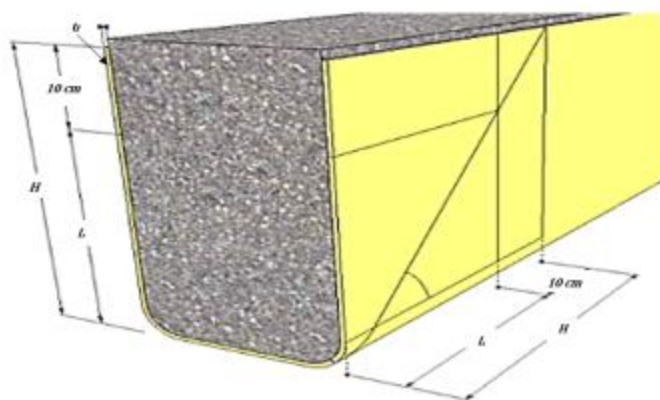


Schéma d'une poutre renforcée avec le composite SikaWrap®

Dans le cas d'un enveloppement en forme de U, le composite est collé sur les 2 faces latérales en continuité en passant sous la poutre :

$$L = H - 100 \text{ (mm)}$$

Les derniers 100 mm à chaque extrémité du collage correspondent à la zone d'ancrage et ne sont donc pas considérés dans la section efficace de renforcement.

Avec H : hauteur (mm) sur laquelle est appliqué le renfort SikaWrap® (en général, la hauteur de retombée de la poutre) ;

La section utile du composite s'exprime donc par :

$$A_{ft} = 2 \cdot t_f \times (H - 100)$$

Pour mémoire :

Épaisseur t_f d'une couche de renfort SikaWrap®- 230C : 0,129mm ; SikaWrap®-300C : 0,167mm ; SikaWrap®-600C : 0,331mm.

2.5.3.3.2. Longueur de poutre à renforcer

Il y a lieu d'appliquer le renforcement sur toute la longueur de la poutre où l'effort tranchant sollicitant est supérieur à la capacité portante du béton et des armatures existantes.

2.5.3.3.3. Vérification de la contrainte de glissement

Il est nécessaire de vérifier la contrainte de glissement τ_f à l'interface béton/ renfort SikaWrap® sur la zone d'ancrage (tissu appliqué sur les 2 faces de la poutre) :

Surface d'ancrage : $2 L_{anc} b$

Avec $L_{anc} = 100$ mm (voir schéma ci-dessus)

A partir des hypothèses retenues, cette contrainte s'exprime par :

$$\tau_f = \frac{V_f}{2 \times 100 \times b}$$

Elle doit être inférieure à la valeur critique $\tau_{cr} = 2$ MPa

Dans le cas où la hauteur utile de la poutre (pour un renforcement en U) ne permet pas de mettre en œuvre la section de tissu nécessaire au renforcement et donc de reprendre la totalité des efforts, il conviendra d'augmenter l'ancrage des tissus à l'aide des mèches d'ancrage SikaWrap® FX-50C. Le nombre de mèches par largeur de tissu dépend de l'effort à reprendre.

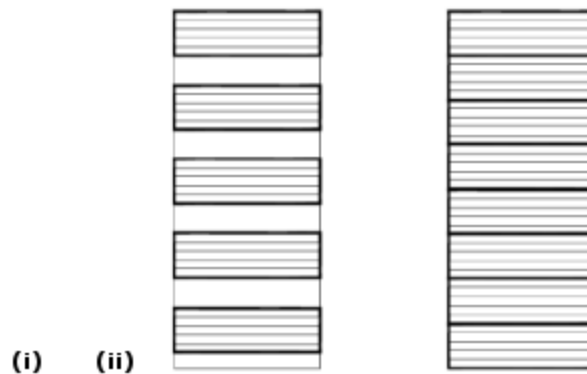
2.5.4. BAEI 91/99 - Renforcement des poteaux en béton armé vis-à-vis de leur capacité en compression (confinement)

2.5.4.1. Domaine d'utilisation et principe de dimensionnement

Le confinement par matériau composite PRFC permet d'augmenter l'effort normal que peut supporter un poteau (sain ou endommagé). L'application circonférentielle du procédé SikaWrap® permet, en limitant les déformations transverses du béton, d'améliorer de façon significative le comportement en compression des poteaux.

L'effet du confinement est une augmentation de la capacité portante ultime du poteau.

Le principe de calcul retenu est basé sur les recommandations de l'AFGC de 2003 révisées 2007.



Principe de renforcement des poteaux (confinement). (i) Confinement discontinu et (ii) confinement total

2.5.4.2. Elancement

La procédure de dimensionnement concerne uniquement des poteaux de section circulaire, carrée ou rectangulaire (dans la limite où le grand côté « b » est inférieur ou égal à 1,5 fois le petit côté « a ») et dont l'élanement est réduit.

Pour que la méthode puisse être appliquée, les poteaux devront vérifier la condition suivante : $\lambda \leq 50$ (recommandations de l'AFGC).

Lorsque l'élanement est supérieur à cette valeur limite, les calculs lors du dimensionnement devront faire l'objet d'une étude plus approfondie (calculs de flambement par exemple ; les renforts longitudinaux, seront placés sous les renforts de confinement. Ceux-ci permettront de diminuer le risque de flambement des poteaux si nécessaire et leur ancrage sera grandement augmenté).

2.5.4.3. Conditions de continuité

Les renforts de poteaux devront également respecter des dispositions constructives en ce qui concerne les ancrages et les longueurs de recouvrement, les rayons de courbure des renforts, et l'espacement entre bandes de renfort.

2.5.4.4. Résistance du béton confiné

La pression de confinement f_l provenant du renfort PRFC SikaWrap® s'exprime par $f_l = E_p \cdot \varepsilon_{fud}$ avec :

- ε_{fud} : déformation à rupture du renfort PRFC ;
- E_p : module de confinement (traduit la rigidité du confinement).

pour un section circulaire :

$$E_p = \frac{2t_f \cdot n_p}{D} \cdot E_f$$

pour section rectangulaire :

$$E_p = \frac{2t_f \cdot n_p}{b} \cdot E_f$$

Avec

- E_f - le module d'élasticité en traction du renfort PRFC SikaWrap® ;
- t_f - l'épaisseur du renfort PRFC SikaWrap® ;
 - Epaisseur t_f d'une couche de renfort SikaWrap®- 230C : 0,129mm,
 - Epaisseur t_f d'une couche de renfort SikaWrap®- 300C : 0,167mm,
 - Epaisseur t_f d'une couche de renfort SikaWrap®- 600C : 0,331mm,
- b - le grand coté pour un poteau de section rectangulaire ;
- D - le diamètre pour une section circulaire ;
- n_p - le nombre de couches.

La résistance de calcul en compression du béton confiné est :

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

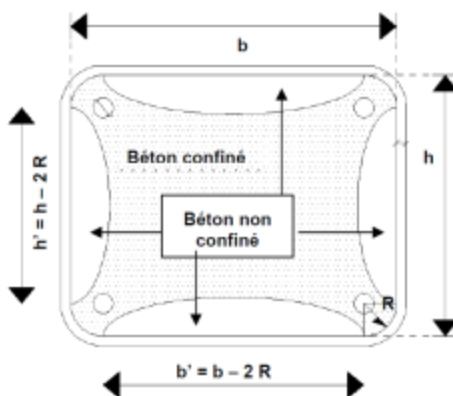
- f_{cd} - Résistance de calcul en compression du béton ;
- ψ_f - Coefficient de performance (fonction de la forme de la section du poteau) ;
- α - Coefficient d'efficacité du confinement ;
- k_c, k_h - Coefficients minorateurs.

Valeurs des coefficients à considérer :

- $\psi_f = 0,8$ - pour une section circulaire ;
- $\psi_f = 0,6$ - pour une section rectangulaire (avec angles arrondis de rayon R tel que $R \geq 35\text{mm}$) ;
- $\alpha = 3,45$ - pour un béton d'usage courant $f_{ck} \leq 60 \text{ MPa}$;
- k_c - coefficient minorateur pour prise en compte de la forme de la section. Dans les poteaux de section circulaire, la pression de confinement est considérée uniforme. Pour les poteaux présentant des sections rectangulaires ou carrées, seule une partie du noyau de béton est effectivement confinée, ce qui réduit l'efficacité du confinement.

| | |
|--------------------------------------|-----------------------|
| $k_c = 1$ | Section circulaire |
| $k_c = 1 - \frac{h'^2 + b'^2}{3A_c}$ | Section rectangulaire |

A_c – aire de la section du béton



Distribution non uniforme de la pression de confinement sur une section rectangulaire

- k_h - coefficient minorateur pour prise en compte du type de confinement (continu, discontinu), la largeur ω_f du renfort PRFC SikaWrap®, l'espacement S_f entre bandes et leur orientation (fonction de l'angle d'inclinaison β).
- cas du renforcement continu : $k_h = 1$
- cas du renforcement discontinu :

| Section circulaire | Section rectangulaire | |
|--|--|--|
| $k_h = \frac{1}{1 + \frac{S_f}{\pi D}} \left(1 - \frac{S_f - W_f}{2D}\right) (1 - \rho_l)$ | $k_h = \frac{\left(1 - \frac{S_f - W_f}{2h}\right) \left(1 - \frac{S_f - W_f}{2b}\right)}{(1 - \rho_l)}$ | |

Avec ρ_l le taux de ferrailage longitudinal $\frac{A_s}{A_c}$, avec S_f fonction de β l'angle d'inclinaison des bandes et b , la longueur droite du coté ($b' = b - 2R$).

2.5.4.5. Calcul de la portance d'un poteau confiné

Un poteau renforcé par confinement à l'aide de renfort en PRFC SikaWrap® peut reprendre la charge maximum :

$$N_u \leq \gamma_\lambda \times (A_c \times f_{cd,c} + A_s \times f_{su})$$

Avec γ_λ coefficient qui dépend de l'élançement λ :

$$\gamma_\lambda = \frac{0,85}{1 + 0,2 \left(\frac{\lambda}{35}\right)^2} \text{ pour } \lambda \leq 50$$

2.5.4.6. Dimensionnement

L'élançement du poteau à renforcer doit satisfaire la condition suivante : $\lambda \leq 50$

Calcul de la résistance de calcul du béton confiné :

$$f_{cd,c} = \frac{1}{A_c} \left(\frac{N_u}{\gamma_\lambda} - A_s f_{su} \right)$$

Calcul de la pression de confinement requise :

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

Calcul du nombre de couches nécessaire de renfort SikaWrap :

$$n_p \geq \frac{D \cdot f_l}{2 \cdot t_f \cdot E_f \cdot \varepsilon_{fud}} \text{ Pour une section circulaire}$$

$$n_p \geq \frac{b \cdot f_l}{2 \cdot t_f \cdot E_f \cdot \varepsilon_{fud}} \text{ Pour une section rectangulaire}$$

Pour mémoire, les caractéristiques des tissus sont comme suit :

| | SikaWrap®-230 C | SikaWrap®-300 C | SikaWrap®-600 C |
|---|-----------------|-----------------|-----------------|
| Module d'élasticité moyen E_f (MPa) | 225000 | 225000 | 235000 |
| Allongement de calcul ε_{fud} (%) | 0,72 % | 0,72% | 0,6% |
| Epaisseur t_f (mm) | 0,12 | 0,167 | 0,331 |

Caractéristiques mécaniques des composites à utiliser pour le renforcement des poteaux

2.5.4.7. Dispositions constructives

2.5.4.7.1. Rayon de courbure des renforts SikaWrap

Les angles des poteaux doivent être préparés de manière satisfaire un rayon de courbure $R \geq 35$ mm.

2.6. Calcul suivant le référentiel TR55 (Eurocode 2)

2.6.1. Généralités

Les hypothèses de calcul retenues sont :

- les sections planes restent planes, et il n'y a pas de glissement relatif entre les armatures internes ou le renfort SikaWrap® et le béton ;
- la résistance en traction du béton est négligée ;
- la résistance en compression du renfort SikaWrap® est négligée ;
- les diagrammes contrainte – déformation de calcul du béton, de l'acier passif et de précontrainte et du composite considérés sont ceux du paragraphe 2.3.1;

- les combinaisons de charges sur les structures, les lois de comportement et les coefficients de sécurité sur l'acier et le béton sont ceux donnés par l'Eurocode 2.

2.6.2. Notations

| Béton | |
|----------------------------|--|
| b | Largeur de l'élément béton |
| f_{ck} | Résistance caractéristique du béton en compression |
| f_{cd} | Résistance de calcul du béton en compression |
| f_{ctk} | Résistance caractéristique du béton en traction |
| ε_c | Déformation du béton |
| ε_{c2} | Déformation du béton atteinte pour la contrainte de compression maximale |
| ε_{cu2} | Déformation ultime du béton en compression |
| σ_c | Contrainte de compression du béton |
| α_{cc} | Coefficient tenant compte des effets à long terme sur la résistance en compression et des effets défavorables résultant de la manière dont la charge est appliquée |
| γ_c | Coefficient partiel de sécurité du béton |
| M_{Rd} | Moment résistant de la section béton armé |
| M_{Ed} | Moment ultime de calcul |
| M_y | Moment de la section renforcée pour lequel les armatures atteignent leur limite élastique |
| Acier | |
| A_s | Section d'armatures |
| f_{yk} | Résistance caractéristique des armatures en traction |
| f_{yd} | Résistance de calcul des armatures |
| d | Distance entre les aciers de traction et la fibre supérieure du béton |
| ε_s | Déformation des armatures |
| σ_s | Contrainte de traction des armatures |
| E_s | Module d'élasticité des armatures |
| γ_s | Coefficient partiel de sécurité de l'acier |
| z | Bras de levier |
| Composite | |
| A_f | Section du renfort carbone |
| b_f | Largeur du composite |
| f_{fk} | Résistance caractéristique du composite en traction |
| f_{fd} | Résistance de calcul du composite en traction |
| E_{fk} | Module d'élasticité caractéristique du composite |
| E_{fd} | Module d'élasticité de calcul du composite |
| ε_{fk} | Déformation caractéristique du composite en traction |
| ε_{fd} | Déformation de calcul du composite en traction |
| ε_{mt} | Déformation maximale du composite dans la zone élastique |
| ε_{fmax} | Déformation du composite au moment ultime de calcul |
| $\gamma_{FRP,E}$ | Coefficient partiel de sécurité sur le module d'élasticité du composite |
| $\gamma_{FRP,m}$ | Coefficient partiel de sécurité additionnel relatif au processus de fabrication du composite |
| $\gamma_{FRP,\varepsilon}$ | Coefficient partiel de sécurité sur la déformation du composite |
| M_{add} | Moment additionnel |
| σ_{fmax} | Contrainte dans le composite au moment ultime de calcul |
| σ_{fy} | Contrainte dans le composite pour laquelle les armatures atteignent leur limite élastique |
| t_f | Épaisseur du composite |

| Interface composite/béton | |
|---------------------------|--|
| k_b | Coefficient sur la force de collage |
| l_t | Longueur d'ancrage |
| $l_{t,max}$ | Longueur d'ancrage maximale |
| T_d | Effort dans le composite |
| T_k | Effort de décollement |
| $T_{k,max}$ | Effort maximal de décollement |
| τ_t | Contrainte de cisaillement longitudinale dans le composite |
| $\tau_{lim,y}$ | Contrainte de cisaillement limite |
| τ_m | Contrainte moyenne de cisaillement |
| τ_{sc} | Contrainte additionnelle de cisaillement |
| Δx | Longueur entre la position du moment maximum et le moment pour lequel les armatures atteignent leur limite élastique |

2.6.3. TR-55 (Eurocode 2) – Renforcement en flexion du béton armé

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

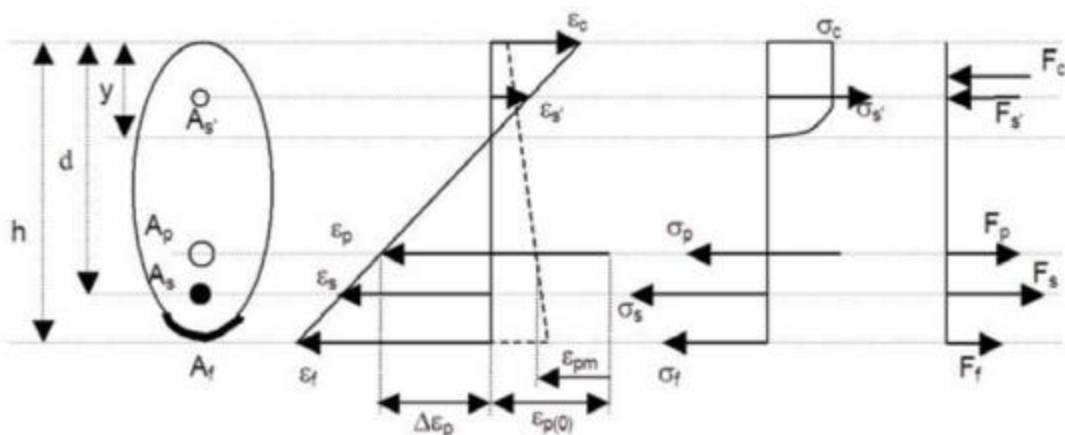


Diagramme des déformations limites d'une section

2.6.3.1. Dimensionnement à l'ELU

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

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

Avec :

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

2.6.3.2. Calcul du moment résistant de la section renforcée

- Les sections de béton et de composite considérées restent planes sous l'effet des déformations. On considère également qu'il n'y a pas de glissement/cisaillement entre différentes sections du même élément.
- Les contraintes dans le béton sont déterminées suivant le diagramme parabole-rectangle.
- L'effort de traction dans le béton n'est pas pris en compte.
- Les contraintes dans les armatures sont déterminées à partir du diagramme bilinéaire simplifié.
- Les déformations dans la section doivent tenir compte des déformations présentes dans la structure existante au moment de l'application du renfort.
- Les contraintes dans le renfort carbone suivent une loi contrainte-déformation linéaire jusqu'à la rupture.

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

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

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

2.6.3.3. Vérifications section renforcée

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

- (a) calculer les déformations initiales dans la structure à l'état initial, c'est-à-dire au moment des travaux de renforcement ;
- (b) calculer les charges appliquées à la structure à l'ELU et déterminer le moment sollicitant M_{Ed} ;
- (c) estimer la section de renfort carbone nécessaire (voir § 2.6.3.1) ;
- (d) supposer une valeur initiale pour la déformation maximale dans le béton ($\leq \varepsilon_{cu2}$ ou ε_{cu3} suivant le diagramme contrainte-déformation utilisé selon l'Eurocode 2) ;
- (e) supposer une position initiale pour l'axe neutre ;
- (f) en tenant compte des recommandations initiales (voir §2.6.3.2), calculer les forces dans la section à renforcer. Le calcul est basé sur un profil de déformation linéaire dans lequel la déformation dans le composite tient compte de la déformation initiale dans le béton.
- (g) itérativement, ajuster la position de l'axe neutre jusqu'à l'équilibre des forces dans la section.
- (h) vérifier les contraintes et les déformations par rapport aux critères suivants :
 - La déformation maximale dans le béton ne doit pas dépasser ε_{cu2} ou ε_{cu3} suivant le diagramme contrainte-déformation utilisé selon l'Eurocode 2 ;
 - La contrainte de cisaillement longitudinale τ_t dans le composite ne doit pas dépasser la contrainte de cisaillement limite $\tau_{lim,y}$;
 - La déformation dans le composite ε_{mt} doit être inférieure à sa déformation de calcul ε_{fd} .

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

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

2.6.3.4. Vérifications à l'ELS

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

Pour le béton :

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

Pour les armatures tendues :

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

Pour les renforts PRFC :

- $\sigma_f \leq \sigma_{f,lim} = \min(0,9\sigma_{s,lim}; 0,65 f_{fd})$, sous combinaison caractéristique (f_{fd} la résistance ultime du composite définie au §2.3.2.1 du Dossier Technique).

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

2.6.3.5. Vérification de la contrainte de cisaillement longitudinale

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

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

Avec la contrainte de cisaillement limite :

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

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

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

Où :

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

Avec :

- M_y : moment de la section renforcée pour lequel les armatures atteignent leur limite élastique ;
- σ_{fy} : contrainte dans le composite pour laquelle les armatures atteignent leur limite élastique ;

- M_{Ed} : moment maximal de calcul ;
- $\sigma_{f\ max}$: contrainte dans le composite au moment maximal de calcul ;
- Δx : distance entre les sections correspondant à M_y et à M_{Ed} .

2.6.3.6. Vérification de la déformation du composite

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

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

Avec la déformation ultime de calcul du composite donnée par :

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

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

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

Où :

ε_{fmax} : déformation du composite au moment fléchissant maximal, calculée à l'ELU (il y a lieu de vérifier que cette déformation soit toujours inférieure à 0,008).

τ_{sc} : contrainte additionnelle de cisaillement (§2.6.3.5).

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

t_f : épaisseur du composite.

$\gamma_{FRP,m\varepsilon} = \gamma_{FRP,\varepsilon} \cdot \gamma_{FRP,mf}$ avec $\gamma_{FRP,m} = 1,2$ et $\gamma_{FRP,\varepsilon} = 1,25$.

2.6.3.7. Vérification de l'ancrage conformément à la TR55

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

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

Avec :

- $E_{fd} = \frac{E_{fk}}{\gamma_{FRP,mE}}$: module d'élasticité de calcul du composite en MPa.
- t_f : épaisseur du composite en mm.
- b_f : largeur du composite en mm ;
- $k_b = 1,06 \sqrt{\frac{2 - \frac{b_f}{b}}{1 + \frac{b_f}{400}}}$: coefficient sur la force de collage.
- b : largeur de l'élément à renforcer en mm.

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

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

Dans le cas où la longueur du renfort souhaite être optimisée sur la portée, il est nécessaire de calculer les positions pour lesquelles le moment fléchissant M_{Ed} n'excède plus le moment résistant M_{Rd} . La longueur d'ancrage sera de 20 cm de part et d'autre de ces positions. Il sera toutefois nécessaire de vérifier que l'effort T_d sont transmis sur la longueur $l_{t,max}$.

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

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

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

Où :

l_t : longueur d'ancrage disponible en mm.

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

$$T_d \leq T_k$$

2.6.4. TR-55-Eurocode 2 – Renforcement en flexion du béton précontraint

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

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

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

Critère à l'Etat Limite de Service

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

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

Avec :

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

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

Pour le béton :

$$\sigma_s \leq \sigma_{c,lim} = 0,6 f_{ck,r} \text{ sous combinaison caractéristique ;}$$

$$\sigma_s \leq \sigma_{c,lim} = 0,45 f_{ck,r} \text{ sous combinaison quasi permanente ;}$$

Pour les armatures BA tendues :

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

Pour les armatures de précontrainte :

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

Pour les renforts PRFC :

$$\sigma_f \leq \sigma_{f,lim} = \min(0,9 \sigma_{s,lim} ; 0,65 f_{fd}) \text{ sous combinaison caractéristique (} f_{fd} \text{ la résistance ultime du composite définie au §2.3.2.2 du Dossier Technique.}$$

Augmenter la section du matériau composite si nécessaire.

2.6.4.1. Ancrage

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

2.6.5. TR-55-Eurocode 2 – Renforcement à l'effort tranchant

Les deux vérifications à effectuer, vis-à-vis de l'effort tranchant, pour les éléments en béton renforcés par le procédé SikaWrap® sont :

Vérification de la contrainte en traction du composite à l'ELU : Cette vérification est menée conformément aux détails donnés dans le Dossier Technique. La déformation du procédé SikaWrap® est limitée conformément aux indications données au paragraphe § 2.3.2.2 de la partie Dossier Technique.

Vérification du non-glissement à l'interface composite-béton à l'ELU : Cette vérification consiste à s'assurer que la contrainte de cisaillement à l'interface composite-béton n'excède pas la valeur de la contrainte limite de cisaillement. Cette valeur limite s'appuie dans tous les cas sur des essais de pastillage à effectuer in situ sur le support après préparation, ragréage le cas échéant, dans l'état dans lequel il est destiné à recevoir le renforcement.

La valeur de la contrainte de cisaillement limite à retenir pour le dimensionnement est calculée de la manière suivante, à partir de la résistance caractéristique f_{tk} obtenue par les essais de pastillage

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

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

2.6.5.1. Notations

| | |
|------------------|---|
| V_d | Effort tranchant sollicitant |
| V_{Ed} | Effort tranchant ultime |
| $V_{Rd,max}$ | Effort tranchant maximum |
| $V_{Rd,s}$ | Effort tranchant ultime repris par les armatures internes |
| $V_{Rd,f}$ | Effort tranchant ultime repris par le tissu |
| $V_{Rd,s,f}$ | Effort tranchant résistant |
| s | Espacement des cadres |
| d_f | Distance entre les aciers de traction et la fibre supérieure du béton |
| n_s | Coefficient incluant le type de renforcement |
| $l_{t,max}$ | Longueur d'ancrage maximale |
| E_{fd} | Module d'élasticité de calcul du composite |
| ϵ_{fse} | Déformation effective du composite par rapport au cisaillement |
| β | Angle d'inclinaison du composite par rapport à la fibre moyenne du béton |
| z | Bras de levier des forces internes |
| θ | Angle d'inclinaison des bielles de compression (compris entre 21,8° et 45°) |
| A_{sw} | Aire de la section des armatures d'effort tranchant |
| f_{ywd} | Limite d'élasticité de calcul des armatures d'effort tranchant |
| A_{fw} | Aire du tissu : $A_{fw} = 2 t_f b_f$ |
| b_f | Largeur du tissu |
| s_f | Espacement entre bandes de tissu (mesuré du bord d'une bande au même bord de la bande suivante) |
| t_f | Épaisseur du tissu |

2.6.5.2. Dimensionnement à l'ELU

Avant renforcement, c'est-à-dire en tenant compte uniquement des aciers existants et non des tissus SikaWrap®, la structure doit reprendre la totalité des charges prévues (charges initiales et charges nouvelles) à l'E.L.U. sous combinaisons accidentelles.

On doit d'abord s'assurer que l'effort tranchant sollicitant est inférieur à l'effort tranchant maximal résistant :

$$V_{Ed} < V_{Rd,max}$$

Dans le cas contraire, le renforcement vis-à-vis de l'effort tranchant n'est pas possible dû à la rupture du béton par compression. La tenue de l'effort tranchant est assurée lorsque :

$$V_{Ed} \leq V_{Rd,s,f}$$

Où V_{Ed} est l'effort tranchant ultime de la section considérée et $V_{Rd,s,f}$ l'effort tranchant résistant défini comme suit :

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

Où $V_{Rd,s}$ est la contribution des armatures internes :

$$V_{Rd,s} = \frac{A_{sw}}{s} z f_{ywd} \cot \theta$$

Avec :

- A_{sw} : section des cadres en acier ;
- s : espacement des cadres ;
- z : bras de levier des aciers ;
- f_{ywd} : limite d'élasticité de calcul des armatures d'effort tranchant ;
- θ : angles d'inclinaison de bielles de compression.

Et $V_{Rd,f}$ la contribution du composite SikaWrap® :

$$V_{Rd,f} = \frac{A_{fw}}{s_f} z_f \sigma_f (\sin \beta + \cos \beta);$$

$$z_f = \left(h_f - \frac{n_s}{3} l_{t,max} \cos \beta \right)$$

Avec :

- $A_{fw} = 2 t_f b_f$: aire du tissu (b_f = largeur du tissu et t_f = l'épaisseur du tissu en mm),
- s_f : espacement entre bandes de tissu,
- z_f : bras de levier de calcul du renfort,
- d_f : distance entre les aciers de traction et la fibre supérieure du béton,
- β : angle d'inclinaison du composite par rapport à la fibre moyenne du béton,
- h_f : la hauteur de collage du composite,
- $l_{t,max} = 0.7 \sqrt{\frac{E_{fd} t_f}{f_{ctk}}}$: longueur d'ancrage maximale,
- n_s : 0 pour un recouvrement complet de poutre, 1 pour un recouvrement en U (pour des questions de mise en œuvre et d'efficacité du renforcement, la méthode de renforcement par enveloppement en U sera privilégiée),
- σ_f : contrainte de calcul du composite,
- E_{fd} : module d'élasticité de calcul du composite en MPa,
- f_{fd} : résistance de calcul du composite en traction,
- $F_{SikaWrap FX-50C}$ - la résistance de calcul d'ancrage d'une mèche à l'ELU,
- $S_{SikaWrap FX-50C}$ - l'espacement des mèches,
- ϵ_{fse} : déformation effective du composite par rapport au cisaillement définie comme :

$$\epsilon_{fse} = \min \left\{ \begin{array}{l} \frac{\epsilon_{fd}}{2}; \\ 0,5 \sqrt{\frac{f_{ctk}}{E_{fd} t_f}}; \\ 0,004; \end{array} \right\}$$

| | | |
|---|---|---|
| | | |
| $z_f = \min \left\{ 0,9 d_f; \left(h_f - \frac{1}{3} l_{t,max} \cos \beta \right) \right\}$ $\sigma_f = E_{fd} \epsilon_{fse}$ | $z_f = \min \{ 0,9 d_f; h_f \}$ $\sigma_f = \max \{ F_{SikaWrap FX-50C} / S_{SikaWrap FX-50C} \times t_f; E_{fd} \epsilon_{fse} \}$ | $z_f = 0,9 d_f$ $\sigma_f = \min \{ E_{fd} \epsilon_{fse}; f_{fd} \}$ |

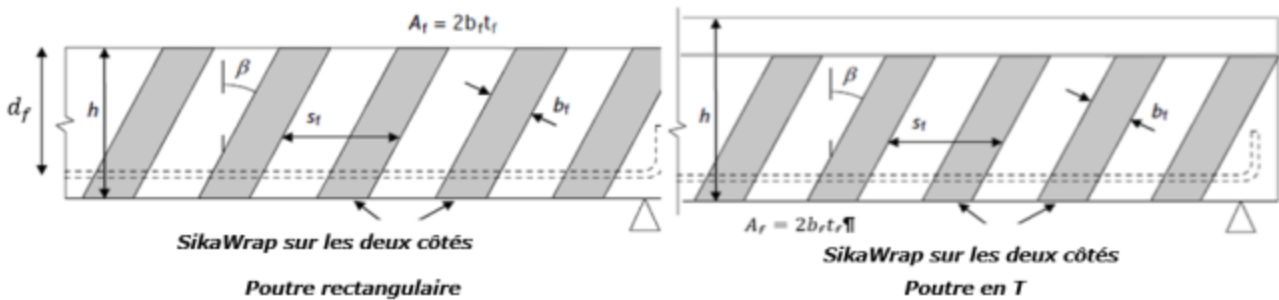
Recouvrement des poutres

On devra également s'assurer que la condition suivante est respectée :

$$\frac{f_{ywk}}{E_s} < \epsilon_{fse}$$

Avec :

- f_{ywk} : limite d'élasticité caractéristique des armatures d'effort tranchant ;
- E_s : module d'élasticité des armatures d'effort tranchant ;



Principe de renforcement à l'effort tranchant

2.6.6. TR- 55 (Eurocode 2) - Renforcement des poteaux en béton armé vis-à-vis de leur capacité en compression (confinement)

2.6.6.1. Notations

| | | | |
|---------------------|--|------------------------|--|
| σ_c | Contrainte dans le béton | $\varepsilon_{h,rupt}$ | Déformation à rupture du composite par confinement |
| σ_y | Contrainte dans les armatures | ρ_K | Ratio de rigidité du confinement |
| f_{ck} | Résistance caractéristique du béton | ρ_ε | Ratio de déformation |
| f_{c0} | Résistance du béton non confiné | k_e | Facteur d'efficacité de confinement |
| f_{cd} | Résistance du béton confiné | D | Diamètre du poteau |
| f_{yk} | Résistance caractéristique des armatures | R_c | Rayon de courbure des angles du poteau |
| ε_{c2} | Déformation à rupture du béton | b | Longueur du petit côté du poteau |
| ε_{ccu} | Déformation ultime du béton confiné | h | Longueur du grand côté du poteau |
| t_f | Epaisseur du composite | e_i | Excentricité de la charge appliquée |
| E_{fd} | Module d'élasticité de calcul du composite | h_c | Dimension la plus grande de la section à renforcer |
| ε_{fd} | Déformation de calcul du composite | l_0 | Hauteur effective du poteau |

2.6.6.2. Principes

Le confinement par matériau composite PRFC permet d'augmenter l'effort normal que peut supporter un poteau (sain ou endommagé). L'application circumférentielle du procédé SikaWrap® permet, en limitant les déformations transverses du béton, d'améliorer de façon significative le comportement en compression des poteaux.

L'effet du confinement est une augmentation de la capacité portante ultime du poteau.

Les poteaux renforcés sont enveloppés complètement de tissu sur toute la hauteur.

Le principe de calcul retenu est basé sur les recommandations TR55, issues des principes de l'Eurocode 2 dans lesquelles il est précisé que l'excentricité e_i de la charge appliquée ne doit pas dépasser la valeur maximale parmi :

- $e_i = \frac{h_c}{30}$ en mm.
- $e_i = 20$ mm.
- $e_i = \frac{l_0}{400}$ en mm.

2.6.6.3. Type de poteaux considérés

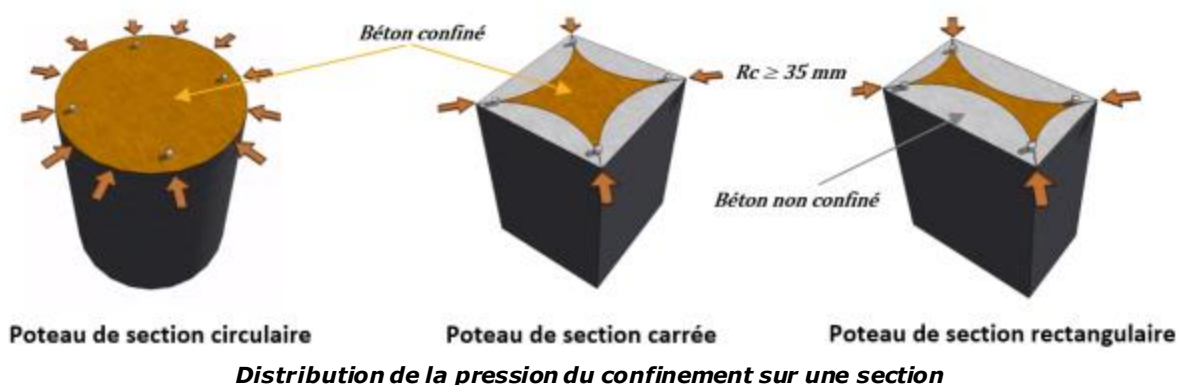
La procédure de dimensionnement concerne uniquement des poteaux de section circulaire, carrée ou rectangulaire (dans la limite où le grand côté est inférieur ou égal à 1,5 fois le petit côté) et dont l'élançement est réduit.

Rayon de courbure des angles

Pour les poteaux de section carrée ou rectangulaire, les angles doivent être arrondis avec un rayon de courbure minimum :

$$R_c \geq 20 \text{ mm}$$

Le rayon de courbure R_c étant pris en compte dans le calcul du confinement. La valeur recommandée du rayon de courbure pour la préparation des angles est de 35 mm.



2.6.6.4. Elancement

Pour que la méthode puisse être appliquée, les poteaux devront vérifier la condition suivante : $\lambda \leq 50$ (recommandations de l'AFGC de juin 2010).

2.6.6.5. Ancrage

Il est nécessaire de prolonger la longueur du tissu au-delà de l'enveloppement complet du poteau afin d'avoir un recouvrement de 20 cm minimum et assurer la bonne transmission des efforts pour le confinement.

2.6.6.6. Résistance du béton confiné

Après avoir défini le choix du tissu pour le renforcement (épaisseur et nombre de couches), il convient de calculer la résistance f_{ccd} et la déformation ε_{ccu} ultime du béton confiné.

$$f_{ccd} = (1 + 5,25 (k_e \rho_K - 0,01) \rho_\varepsilon) f_{c0}$$

$$\varepsilon_{ccu} = (1,75 + 6,5 \rho_K^{0,8} \rho_\varepsilon^{1,45}) \varepsilon_{c2}$$

Avec :

f_{c0} : résistance du béton non confiné.

$\varepsilon_{c2} = 0,002$ pour $f_{c0} < 50$ MPa.

k_e : facteur d'efficacité de confinement :

- pour les poteaux rectangulaires : $k_e = \frac{R_c}{b} \left(1 + \frac{b}{h}\right)$
- Pour les poteaux carrés : $k_e = \frac{2 R_c}{b}$
- Pour les poteaux de section circulaire : $k_e = 1$

Et

R_c - rayon de courbure des angles du poteau,

b - longueur du petit côté du poteau,

h - longueur du grand côté du poteau.

Le facteur de rigidité du confinement ρ_K et le ratio de déformation ρ_ε quant à eux diffèrent suivant la géométrie de la section à renforcer.

2.6.6.7. Poteau de section circulaire

Le facteur de rigidité du confinement est :

$$\rho_K = \frac{2 E_{fd} t_f}{\left(\frac{0,85 f_{ck}}{\varepsilon_{c2}}\right) D} \geq 0,01$$

Le ratio de déformation est :

$$\rho_\varepsilon = \frac{\varepsilon_{h,rupt}}{\varepsilon_{c2}}$$

Où $\varepsilon_{h,rupt} = 0,6 \varepsilon_{fd}$ est la déformation à rupture du composite pour le confinement.

2.6.6.8. Poteau de section rectangulaire et carré :

Le facteur de rigidité du confinement est :

$$\rho_K = \frac{E_{fd} t_f}{\left(\frac{0,85 f_{ck}}{\varepsilon_{c2}}\right) R_c} \geq \frac{0,01}{k_e}$$

Avec :

- Pour les poteaux rectangulaires : $k_e = \frac{R_c}{b} \left(1 + \frac{b}{h}\right)$
- Pour les poteaux carrés : $k_e = \frac{2 R_c}{b}$

Le ratio de déformation est :

$$\rho_\varepsilon = \frac{\varepsilon_{h,rupt}}{\varepsilon_{c2}}$$

Où la déformation à rupture du composite pour le confinement est :

$$\varepsilon_{h,rupt} = \varepsilon_{fd} \left[0,46 \left(\frac{2 R_c}{h} \right) + 0,14 \right]$$

2.6.6.9. Vérification du renforcement

L'effort repris par le béton confiné est calculé comme suit :

$$N_0 = \gamma_\lambda \left(A_{c,net} f_{ccd} + \frac{A_s f_{yk}}{\gamma_s} \right)$$

Où :

- $\gamma_\lambda = \frac{0,85}{1 + 0,2 \left(\frac{\lambda}{35} \right)^2}$ coefficient qui dépend de l'élançement pour $\lambda \leq 50$,
- $A_{c,net} = A_c - A_s$: aire nette du béton,
- A_s : aire des aciers de compression,
 - f_{yk} : résistance caractéristique des armatures,

- γ_s : coefficient partiel de sécurité sur l'acier,
- f_{ccd} : résistance du béton confiné.

Il doit être supérieur à l'effort sollicitant N_{Rd} calculé à l'ELU. Si ce n'est pas le cas, augmenter la section du tissu SikaWrap® sélectionné (nombre de couches).

A partir de 3 couches de tissu SikaWrap® - 230C, il est conseillé de les remplacer par les tissus SikaWrap®-300C ou SikaWrap®-600C.

2.6.6.10. Vérifications en service

Il est nécessaire de vérifier que la contrainte dans le béton et la contrainte dans les armatures vérifient les conditions suivantes :

- $\sigma_c = 0,6 f_{ck}$ sous combinaison caractéristique ;
- $\sigma_s = 0,8 f_{yk}$ sous combinaison caractéristique.

2.7. Dispositions de mise en œuvre

2.7.1. Dispositions constructives

Le renforcement structural d'un ouvrage existant doit faire suite à un diagnostic préalable (détermination des capacités résistantes) aussi précis que possible, permettant de dimensionner et de mettre en œuvre les renforcements de manière pertinente. Le dimensionnement du renforcement doit être réalisé par un bureau d'études de structure spécialisé.

2.7.1.1. Nombre de couches de composite SikaWrap®

Lorsque la place disponible est limitée (exemple en sous-face de poutre) il est possible de superposer les couches de tissu.

Le nombre maximum de couches superposées dépend de la qualité et de la contrainte limite en cisaillement du support en béton. Voir les vérifications présentées dans 2.3.3. Néanmoins, il convient de ne pas prévoir plus de cinq couches de tissus composites pour un renforcement en flexion ou vis-à-vis de l'effort tranchant et plus de dix couches pour le renforcement de poteaux.

2.7.1.2. Arrêt de composite

Au-delà de la zone sollicitée et renforcée en flexion, le composite SikaWrap® doit être prolongé d'une longueur de 20 cm, correspondant à la longueur d'ancrage. Cette longueur d'ancrage peut être réduite après vérification de calcul (voir §2.6.3.7).

2.7.1.3. Espacement entre les composites en flexion

Les renforts doivent être uniformément répartis le long de la dalle ou de la poutre. Les espacements entre les renforts à la flexion sont calculés conformément au §9.3.1.1(3) de la norme NF EN 1992-2 en précisant notamment les définitions des hauteurs efficaces et ne doivent pas dépasser les valeurs suivantes :

- 20 % de la portée (40 % de la longueur pour une console) ;
- 3,5 fois l'épaisseur de dalle ;
- 500 mm.

2.7.1.4. Espacement entre les composites à l'effort tranchant

Dans le cas où l'on souhaite espacer les bandes de renfort, il est important de vérifier que l'espacement s_f n'excède pas les valeurs suivantes afin d'empêcher l'ouverture de fissures :

$$s_f = \min \left\{ \begin{array}{l} 0,8h; \\ 0,5h + b_f; \\ z_f \end{array} \right\}$$

Avec les valeurs h, b_f, z_f définies dans 2.5.3.3, 2.6.5.2.

2.7.1.5. Espacement entre les composites pour le confinement du poteau

L'espacement maximal entre bandes de renfort ($S_f - W_f$) sera limité à la plus petite des valeurs :

$$(S_f - W_f) < \min(40cm; 15 \varnothing; S_t)$$

- \varnothing : diamètre minimal des armatures longitudinales comprimées afin de limiter le risque de flambement de ces armatures,
- S_t : distance entre les cadres d'armatures transversales.

2.7.2. Travaux préparatoires

2.7.2.1. Généralités

Le bon fonctionnement d'une réparation ou d'un renforcement par les procédés SikaWrap® exige un support de bonne qualité.

Dans tous les cas, conformément à la norme NF EN 1504-10, la réalisation d'un diagnostic global de la structure, et en particulier des éléments à renforcer, par un organisme spécialisé est essentiel.

Il s'agit de déterminer notamment l'état du béton (résistance interne et cohésion superficielle, carbonatation, présence de chlorures, ...), l'état des armatures (section et positionnement, état de corrosion). Ces informations importantes influent sur le calcul des renforts PRFC.

Tous les produits qui seront mis en œuvre ultérieurement doivent être conservés dans les conditions de stockage mentionnées dans les Notices Produits.

2.7.3. Préparation du support pour renforts PRFC collés en surface (tissus)

La préparation mécanique du support a pour objet :

- d'éliminer toute trace d'huile, de graisse, de laitance, de revêtements ou imprégnations existants, de produit de décoffrage, autres particules et salissures limitant l'adhérence de la colle époxy ;
- de mettre en évidence d'éventuelles zones fissurées et/ou ségréguées, des cavités ou des armatures apparentes corrodées.

Le diagnostic permet de déterminer s'il faut éliminer les parties du support contaminées par la pénétration de chlorures, sulfates.

La préparation mécanique du support peut être réalisée par ponçage au disque diamanté, hydro-décapage*, hydro-sablage*, sablage, grenailage. Les méthodes qui affaiblissent la peau du béton ou qui peuvent générer de la fissuration de surface ne sont pas adaptées (bouchardage, burinage, décapage thermique, ...).

(*) dans ce cas, un temps de séchage de la surface décapée doit être observé avant la mise en œuvre des renforts PRFC.

Le but recherché n'est pas de créer une forte rugosité apparente mais plutôt d'éliminer la couche superficielle, ayant généralement une faible cohésion, pour arriver à la structure du béton (granulats apparents du béton).

L'entreprise retient le moyen le plus adapté en fonction de la qualité du support, de la présence d'une peinture ou d'un revêtement et des conditions d'environnement.

Les défauts de surface en saillie et arrêtes de coffrage sont éliminés par ponçage.

Les arêtes vives (angles de poutres ou poteaux) doivent être abattues, arrondies, jusqu'à un rayon d'au moins 20 mm, par exemple par ponçage au disque diamanté avant la mise en œuvre du tissu.

2.7.4. Cohésion superficielle du support après préparation du support

Après préparation, la cohésion superficielle du support béton doit être mesurée en se basant sur la norme NF EN 1542 (essai in-situ de traction directe sur pastilles métalliques collées au support – appareil dynamomètre de traction type Sattec) : valeurs mesurées $\geq 1,5$ MPa.

La valeur obtenue sert à caractériser le support avant la mise en œuvre des renforts PRFC mais aussi à valider les hypothèses prises lors du dimensionnement des renforts (vérification du glissement à l'interface PRFC/Béton).

Remarque : dans tous les cas, le support après préparation et juste avant le début du collage des renforts PRFC doit être soigneusement dépoussiéré.

2.7.5. Aspect de surface après décapage

La surface du béton qui reçoit le renfort PRFC doit présenter au minimum les tolérances de planéité d'un parement simple suivant le fascicule N°65 : la planéité globale mesurée avec une règle de 2 m - 8 mm et la planéité locale mesurée avec un réglet de 20 cm - 3 mm. Si les conditions de parement simple ne sont pas respectées des justificatifs sont à fournir.

En fonction de l'aspect de surface obtenu après décapage mécanique, il peut être nécessaire de procéder aux dispositions correctives suivantes :

- Procéder à des bouchages de petits défauts locaux (pores, bullage de surface, forte rugosité ponctuelle du parement) à l'aide du produit Sikadur®-30.
- Procéder à des remplissages de cavités, à des reprofilages / ragréages ponctuels à l'aide du produit Sikadur®-41+ ou Sikadur®-30 ou des produits base ciment de la gamme Sika MonoTop (Sika MonoTop®-410R, ...). Les travaux de réparation sont réalisés conformément aux normes NF P 95-101, NF EN 1504-10 et NF EN 1504-3.

Lorsque le diagnostic et la préparation du support ont mis en évidence des désordres liés à l'oxydation des armatures internes (fissures, épaufrures...), il est nécessaire, préalablement à l'opération de renforcement, de réparer la zone d'enrobage (consulter la norme NF EN 1504-10, et NF P 95-101).

Traiter les fissures inertes de largeur supérieure à 0,3 mm selon la norme NF P 95-103 afin de recréer le monolithisme des éléments de structure et d'éviter toute discontinuité de la surface de collage. Pour les fissures de grandes largeurs (> 2-3 mm), ouvrir les fissures et reboucher à l'aide d'un mortier de la gamme Sika MonoTop ou SikaTop. Pour les fissures de faible largeur, injecter selon les cas par gravité ou sous pression avec le produit Sikadur®-52.

2.7.6. Conditions générales d'application

2.7.6.1. Conditions climatiques

Le support doit être à l'abri de la pluie et de toute arrivée d'eau. Il ne doit pas être gelé, ni présenter de film d'eau en surface au moment de la mise en œuvre des produits de collage structural Sikadur®.

2.7.6.2. Respect de non-condensation sur le support pendant le collage

Les opérations de collage de renforts PRFC ne doivent pas débiter s'il y a un risque de condensation sur le support.

Les contrôles périodiques de non-condensation sont à réaliser préalablement au démarrage du malaxage du produit de collage Sikadur®. La périodicité du contrôle est inhérente aux conditions précises de chaque chantier et du risque plus ou moins élevé de condensation (% Humidité Relative > 80% par exemple). Elle est donc à définir par l'entreprise en coordination avec le maître d'œuvre ou contrôleur.

- Mesures à effectuer : relever simultanément la température ambiante, le taux d'humidité relative et la température du support.
- Objectif à atteindre : il faut vérifier que la température du support est supérieure d'au moins +3°C par rapport à la température du point de rosée.
- Consulter le diagramme de Mollier en annexe ou utiliser des appareils spécifiques qui permettent des prises de mesures simples et rapides et à distance du support afin de savoir instantanément s'il y a ou non risque de condensation.

Solutions en cas de risque de condensation : il faut rechercher les conditions plus favorables permettant de s'éloigner du risque de condensation par exemple en réchauffant le support et l'air ambiant et/ou en abaissant l'humidité de l'air.

Plage de températures (support et ambiance) recommandée : entre +8°C et +35°C.

En dehors de cette plage de températures, les conditions d'emploi ne sont pas optimales (Durée Pratique d'Utilisation, facilité de malaxage, vitesse de durcissement, facilité de mise en œuvre, ...).

2.7.7. Conditions de réception du support

Il est nécessaire de vérifier notamment avant le début des opérations de collage que le support est exempt de poussière et toute autre particule limitant l'adhérence des produits de collage. En effet, malgré le soin apporté à la préparation du support, il peut arriver que le moment prévu pour l'application soit décalé par rapport à la période de nettoyage du support (décalage dans le planning par exemple).

2.7.8. Méthodologie de mise en œuvre

Avant tout démarrage de la mise en œuvre, l'entreprise applicatrice doit disposer d'un plan de pose des renforts PRFC définissant :

- Le procédé à utiliser : SikaWrap® ;
- Le type de renfort : tissu SikaWrap® (références : -300 C, -230 C, -600 C) ;
- La section des renforts : largeur, épaisseur ;
- Le nombre de couches de tissu à mettre en œuvre ;
- Le positionnement des renforts sur la structure ;
- L'espacement entre renforts ;
- La distance entre les renforts et les bords des éléments de structure ;
- Dans le cas de confinement de poteau carré ou rectangulaire : spécification de la valeur de l'arrondi (rayon) dans les angles du poteau car le dimensionnement dépend de cette valeur.

Les produits doivent être stockés dans les conditions requises : en particulier, les produits de collage doivent être conservés à température favorable pour pouvoir effectuer un mélange correct. Les produits à base de fibres de carbone (tissus) doivent être tenus à l'abri en particulier de la pluie, du soleil, de la poussière.

Répertorier les numéros de lots de fabrication des renforts PRFC utilisés : tissus SikaWrap® et résines Sikadur®.

Pour les cas d'application à basse ou haute température, stocker préalablement les produits pendant au moins 24 heures dans un lieu de stockage à température modérée et contrôlée pour faciliter le malaxage, l'application et améliorer les DPU.

Une attention toute particulière doit être portée aux conditions ambiantes et environnementales : vérifier les températures minimale et maximale pour le support, l'ambiance, le produit. Eviter les risques de condensation (température du support > température du point de rosée + 3°C).

2.7.9. Prescriptions de mise en œuvre particulières des tissus SikaWrap®

Il convient au préalable de s'assurer que le tissu à mettre en œuvre est bien celui indiqué sur les plans d'exécution.

2.7.9.1. Préparation du tissu SikaWrap®

Découper soigneusement le tissu aux dimensions indiquées dans la note de calcul fournie par le Bureau d'Etudes.

Le tissu, une fois découpé, doit rester soit à plat, soit enroulé.

En aucun cas, il ne doit être plié afin de ne pas endommager les fibres. Par ailleurs, veiller à le tenir hors poussière et à l'abri de l'humidité, du soleil.

2.7.9.2. Préparation de la colle Sikadur

Préparation de la colle Sikadur®

Il faut choisir la colle et éventuellement le primaire, adaptés au tissu, comme indiqué au paragraphe 2.2.2.

- Homogénéiser chaque composant séparément dans son emballage.
- Verser la totalité du composant B dans le composant A.
- Mélanger avec un agitateur mécanique muni de l'hélice spécial Sikadur® pendant 3 minutes à faible vitesse (300 tours/minute environ) afin de limiter l'inclusion d'air, jusqu'à obtenir un mélange de consistance homogène et de couleur uniforme.

- Si nécessaire, transvaser l'ensemble du mélange dans un récipient propre, puis mélanger à nouveau pendant environ 1 minute.
- La durée de vie en pot débute quand les 2 composants sont mélangés. Elle est plus courte à hautes températures et plus longue à basses températures. Plus la quantité mélangée est importante, plus la durée de vie en pot est courte. Pour obtenir une durée de vie en pot plus longue à hautes températures, diviser le produit une fois mélangé en plusieurs parties. Une autre méthode consiste à rafraîchir (pas en dessous de +5°C) les parties A et B avant de les mélanger.

2.7.9.3. Application du tissu SikaWrap®-230 C / SikaWrap®-300 C

Etape A : application de la couche de colle Sikadur®-330 sur le support

Sur le support béton préalablement préparé, appliquer à l'aide d'une spatule, d'une taloche crantée, d'un rouleau ou d'une brosse, la colle Sikadur®-330 à raison de 0,7 à 1,5 kg/m² suivant la rugosité du support. Cette couche correspond à la quantité de colle nécessaire pour traverser et imprégner complètement le tissu sur toute son épaisseur lors du marouflage.

Etape B : mise en œuvre immédiate du tissu (sur colle poisseuse)

Immédiatement, sur la couche de colle « poisseuse », positionner et ajuster le tissu SikaWrap® conformément au calepinage et au dimensionnement réalisés par le Bureau d'Etudes.

Maroufler le tissu dans la colle à l'aide du rouleau Sika de marouflage jusqu'à l'obtention d'une structure homogène du composite PRFC. Le marouflage doit se faire dans le sens des fibres (sens longitudinal du tissu) et non transversalement afin d'éviter la formation de plis, d'étirement, de bulles d'air.

Si aucune couche supplémentaire de tissu (ou couche de mortier de protection) n'est prévue, la finition se fait à l'aide d'un pinceau pour uniformiser l'aspect de surface du composite PRFC ; sinon voir étape C.

Après application, protéger le système SikaWrap®-230 C ou SikaWrap®-300 C / Sikadur®-330 de la pluie, de la poussière, et de tout autre contaminant jusqu'au durcissement du composite PRFC.

Cas de continuité de bandes de tissu (recouvrement dans le sens longitudinal) :

Lorsque l'on doit assurer la continuité du renfort dans le sens longitudinal entre une bande interrompue et une nouvelle bande, il y a lieu de prévoir une zone de recouvrement entre bandes. La longueur de recouvrement est d'au moins 100mm et définie dans le paragraphe § 2.3.4.

Cas de juxtaposition parallèle de bandes de tissu :

La mise en œuvre parallèle des bandes de tissu se fait généralement sans recouvrement.

Etape C (éventuelle) : superposition de couches de tissu

Pour chaque nouvelle couche, appliquer une couche de colle à raison d'environ 0,5 à 0,8 kg/m².

A 20°C, ceci doit être réalisé dans les 60 minutes qui suivent la pose de la couche précédente de tissu. Au-delà, respecter alors un temps d'attente d'au moins 12 heures avant de procéder à l'application d'une nouvelle couche de résine. Si l'application a lieu au-delà de 24h, prévoir un léger ponçage de la surface à l'aide d'un papier abrasif suivi d'un dépoussiérage et nettoyage à l'aide du Nettoyant Sikadur.

Nota : en cas de température basse et/ou d'humidité relative élevée pendant l'application, la surface du composite durci peut rester légèrement poisseuse. Avant de poursuivre, il faut enlever cette couche poisseuse : nettoyer la surface avec une éponge légèrement humidifiée, rincer et laisser sécher.

Reprendre l'exécution à l'étape B.

Etape D (éventuelle) : préparation avant finition par mortier.

Pour augmenter la rugosité nécessaire à l'adhérence d'un enduit de finition à base de ciment (par exemple SikaTop, Sika MonoTop, Sikafloor Level), il est recommandé d'appliquer une couche de résine d'environ 0,25 kg/m², puis de la saupoudrer, à l'état frais, de sable de quartz propre et sec de granulométrie 0,7/1,3 mm par exemple. Laisser sécher et aspirer les restes de sable avant d'appliquer le mortier.

Pour les finitions et protections, se reporter au § 2.7.11.

2.7.9.4. Consommation de l'adhésif Sikadur®-330 (tissus SikaWrap®-230C, -300C)

La consommation moyenne de l'adhésif Sikadur®-330 par couche de tissu est donnée ci-dessous. Elle varie suivant la nature et l'état de surface du support à renforcer. Toutes les valeurs indiquées dans ce tableau sont basées sur des essais effectués en laboratoire et sont données à titre indicatif.

| | Résine | Première couche de tissu y compris sur le support, (kg/m ²) | Nouvelle couche de tissu, (kg/m ²) | Préparation avant finition par mortier, (kg/m ²) |
|----------------|--------------|---|--|--|
| SikaWrap®-230C | Sikadur®-330 | 0,7 – 1,2 | 0,5 | 0,25 |
| SikaWrap®-300C | | 0,7 – 1,5 | 0,8 | 0,25 |

2.7.9.5. Application du tissu SikaWrap®-600 C

Etape A : application du primaire sur le support

- Le choix du primaire Sikadur®-300 ou -330 doit se faire en fonction du profil de la surface du support, des irrégularités, de la texture et du nombre de couches de tissu à mettre en œuvre :

- Cas général : support lisse, peu de rugosité, absence de bullage, appliquer le Sikadur®-300. Consommation \approx 200 g/m². L'application se fait à l'aide d'un rouleau.
- Cas particuliers : si la surface du support présente une rugosité moyenne à importante, s'il y a un bullage important le primaire Sikadur®-330 doit être utilisé. Consommation \approx 250 à 500 g/m². L'application se fait à l'aide d'un rouleau, d'une taloche crantée, d'une brosse, d'une truelle.
- Plusieurs couches de tissu à appliquer ou application en sous-face : utiliser le Sikadur®-330. Il procure une meilleure adhérence initiale du système multicouche (cela limite le phénomène de glissement du système pendant la phase de durcissement). Consommation \approx 250 à 500 g/m². L'application se fait à l'aide d'un rouleau, d'une taloche crantée, d'une brosse, d'une truelle.

Etape B : imprégnation du tissu SikaWrap®-600 C sur plan de travail

- Sur le plan de travail revêtu d'une feuille de plastique propre, répartir les 2/3 de la quantité prévue de résine Sikadur®-300, soit environ 0,7 à 1 kg/m²,
- Placer le tissu SikaWrap®-600 C prédécoupé sur la feuille plastique enduite de résine Sikadur®-300.
- Imprégner le tissu dans la résine à l'aide d'un rouleau laine ou plastique ou raclette caoutchouc dans la direction longitudinale des fibres jusqu'à ce que la résine pénètre et sature le tissu.
- Répartir ensuite le 1/3 restant (0,3 à 0,5 kg/m²) de résine Sikadur®-300 sur le tissu, puis enduire uniformément à l'aide du rouleau pour saturer complètement le tissu.
- Eliminer l'excès de résine Sikadur®-300 si nécessaire. La consommation de résine peut être déterminée par pesées successives, avant et après saturation du tissu.

Etape C : Mise en place du tissu / marouflage sur le support

- Enrouler si nécessaire le tissu imprégné sur un tube en plastique ou en métal pour le transporter jusqu'à la zone d'application. De cette manière, le tissu ne risque pas de se déformer ou de se froisser. Laisser reposer le tissu sur le tube pendant 5 à 10 mn pour que la résine imprègne totalement le tissu sur toute son épaisseur.
- Positionner le tissu imprégné SikaWrap®-600 C sur le support ayant préalablement reçu le primaire Sikadur®. L'application doit avoir lieu sur primaire « frais » (c'est-à-dire encore poisseux).

La mise en place et le positionnement du tissu doivent être faits sur la base des éléments fournis par le Bureau d'études (positionnement, orientation des fibres, nombre de couches) et cela pendant le temps ouvert du primaire.

- Maroufler à l'aide du rouleau débulleur, pour éliminer les plis et les bulles d'air, sans étirer le tissu, en travaillant parallèlement à la direction longitudinale des fibres (et jamais transversalement) jusqu'à ce que la résine soit répartie uniformément et que les bulles d'air soient éliminées. Eviter d'appliquer un effort trop important lors du marouflage pour limiter la formation de plis et d'étirements dans le tissu SikaWrap®.

Cas de continuité de bandes de tissu (recouvrement dans le sens longitudinal) :

Lorsque l'on doit assurer la continuité du renfort dans le sens longitudinal entre une bande interrompue et une nouvelle bande, il y a lieu de prévoir une zone de recouvrement entre bandes. La longueur de recouvrement est d'au moins 100 mm et définie dans le paragraphe § 2.3.4.

Cas de juxtaposition parallèle de bandes de tissu :

La mise en œuvre parallèle des bandes de tissu se fait généralement sans recouvrement.

Après application, protéger le système SikaWrap®-600 C / Sikadur®-300 de la pluie, de la poussière, et de tout autre contaminant.

Etape D (éventuelle) : superposition de couches de tissu.

Dans le cas où des couches supplémentaires de tissu doivent être mises en œuvre, répéter l'opération d'imprégnation et de marouflage comme décrit ci-dessus.

Le nombre maximum de couches n'est pas lié au tissu utilisé ou la colle, mais dépend de la qualité et de la capacité en cisaillement du support en béton.

L'application doit avoir lieu, frais sur fais, dans les 60 minutes (pour une température d'env. 23°C) qui suivent l'application de la couche précédente.

Si ce n'est pas possible, il faut respecter un temps d'attente d'au moins 12 heures avant d'appliquer la couche additionnelle. Si ce délai est dépassé, poncer légèrement la couche durcie à l'aide d'un papier abrasif et éliminer les poussières et nettoyer à l'aide du Nettoyant Sikadur ; appliquer une couche de primaire Sikadur®-300 puis poursuivre la mise en œuvre comme décrit à partir de l'étape B.

Cas du confinement de poteaux : dans le cas de renforcement de poteau par confinement, le recouvrement des couches supplémentaires de tissu sur les précédentes couches doit être réparti uniformément sur la circonférence ou le périmètre du poteau (les joints ne doivent pas se trouver alignés).

Etape E (éventuelle) : préparation avant finition par mortier.

Pour augmenter la rugosité nécessaire à l'adhérence adéquate d'un enduit de finition à base de ciment (par exemple SikaTop, Sika MonoTop, Sikafloor Level) il est recommandé d'appliquer une couche de résine d'environ 250 g/m², puis de la saupoudrer, à l'état frais, de sable de quartz propre et sec de granulométrie 0,7/1,3 mm par exemple. Laisser sécher et aspirer les restes de sable avant d'appliquer le mortier.

Pour les finitions et protections, se reporter au §2.7.11.

2.7.9.6. Consommation des adhésifs Sikadur®-330, Sikadur®-300 (tissu SikaWrap®-600C)

La consommation moyenne des adhésifs Sikadur®-330 et Sikadur®-300 est donnée ci-dessous. Elle varie suivant la nature et l'état de surface du support à renforcer. Toutes les valeurs indiquées dans ce tableau sont basées sur des essais effectués en laboratoire et sont données à titre indicatif.

| | Cas d'application | Primaire sur le support, (kg/m ²) | | Sikadur®-300 | | | |
|----------------|--|--|-----------|---|---|---|---|
| | | | | Première couche de tissu, (kg/m ²) | Primaire entre les couches de tissu (kg/m ²) | Nouvelle couche de tissu, (kg/m ²) | Préparation avant finition par mortier, (kg/m ²) |
| SikaWrap®-600C | support lisse, peu de rugosité, absence de bullage | Sikadur®-300 | 0,2 | 1 - 1,5 | 0,2 | 1 - 1,5 | 0,25 |
| | support présente une rugosité moyenne à importante | Sikadur®-330 | 0,2 - 0,5 | | | | |
| | plusieurs couches de tissu à appliquer ou application en sous-face | Sikadur®-330 | 0,2 - 0,5 | | | | |

2.7.10. Prescriptions de mise en œuvre particulières pour les mèches SikaWrap®-FX 50C

2.7.10.1. Préparation du support

L'application des mèches SikaWrap® FX-50C nécessite une préparation du support supplémentaire.

Pour la mise en œuvre des mèches SikaWrap® FX-50C, un trou de diamètre de 20 mm et de profondeur minimale de 10 cm (ou autres dimensions selon les spécifications du bureau d'études) doit être foré à sec dans la zone comprimée de la dalle, soit parallèle à la retombée de la poutre, soit avec un angle maximum de 30° (suivant la présence des armatures en place).

Les angles extérieurs du trou doivent être arrondis à un rayon de 2 cm pour éviter tout dommage causé à la mèche (cisaillement, déchirure). Cet évasement en sortie de trou peut être réalisé avec une fraise toupie à béton ou à l'aide d'un foret de plus gros diamètre (ex : 25 mm).

Le trou une fois percé doit être nettoyé soigneusement pour éliminer les poussières et les particules friables. Nettoyer à l'aide d'une brosse et d'une pompe soufflante en alternant les deux outils au moins 3 fois.

A partir du trou, au minimum trois encoches doivent être créées sur la retombée de la poutre avec les dimensions suivantes (ou autres dimensions selon les spécifications du bureau d'études) :

- Largeur : 8 - 10 mm
- Profondeur : 5 - 10 mm
- Longueur : 10 cm

Les encoches doivent ensuite être brossées pour éliminer tout résidu, nettoyées et dépoussiérées par aspiration. Pour faciliter la mise en œuvre, un gabarit pourrait être réalisé sur le chantier.

2.7.10.2. Préparation de la résine d'imprégnation Sikadur®-52

Sikadur®-52 est utilisé pour l'imprégnation de la mèche et des encoches.

Homogénéiser chaque composant séparément dans son emballage.

- Verser la totalité du composant B dans le composant A.
- Mélanger avec un agitateur mécanique muni de l'hélice spécial Sikadur pendant 3 minutes à faible vitesse (300 tours/minute environ) afin de limiter l'inclusion d'air, jusqu'à obtenir un mélange de consistance homogène et de couleur uniforme.
- Si nécessaire, transvaser l'ensemble du mélange dans un récipient propre, puis mélanger à nouveau pendant environ 1 minute,
- La durée de vie en pot débute quand les 2 composants sont mélangés. Elle est plus courte à hautes températures et plus longue à basses températures. Plus la quantité mélangée est importante, plus la durée de vie en pot est courte. Pour obtenir une durée de vie en pot plus longue à hautes températures, diviser le produit une fois mélangé en plusieurs parties. Une autre méthode consiste à rafraîchir (pas en dessous de +5°C) les parties A et B avant de les mélanger.

2.7.10.3. Préparation de la résine de scellement dans le trou et de collage dans les encoches, Sika AnchorFix®-3030

- Dévisser le bouchon de la cartouche ;
- Tirer le film d'emballage, couper ce film ;
- Visser la buse mélangeuse ;
- Introduire la cartouche dans le pistolet extrudeur.

2.7.10.4. Application des mèches d'ancrage SikaWrap® FX-50C

- Couper la mèche à la longueur nécessaire à l'aide de ciseaux spéciaux (longueur totale = longueur à sceller + longueur extérieure de la mèche dans les encoches)
- Imprégner la mèche (dénudée du film plastique de protection) avec le Sikadur® - 52 jusqu'à saturation complète, puis éliminer par pressage l'air et la résine en excès.
- Lier et serrer le bout de la mèche imprégnée grâce à un serre-fil en plastique. Couper la partie inutilisée du serre-fil.
- Éliminer le film plastique transparent de la mèche.
- Appliquer le Sikadur®-52 dans les encoches à l'aide d'un pinceau.
- Remplir le trou dans le support en extrudant la cartouche de Sika AnchorFix®- 3030 (éventuellement en ajoutant un tube-rallonge plastique adapté pour atteindre le fond du trou). L'injection de la résine se fait en partant du fond tout en reculant progressivement la buse de mélange, sur les $\frac{3}{4}$ de la profondeur. Éviter les inclusions d'air.
- Insérer la mèche avec précaution dans le trou à l'aide d'une tige guide raidisseur (ex : rayon de vélo).
- Quand le fond du trou est atteint, retirer avec précaution la tige sans faire ressortir la mèche. Bien veiller à introduire la mèche d'ancrage pendant le temps ouvert de la résine.
- Séparer la partie extérieure de la mèche en 3 brins égaux à placer dans les encoches imprégnées (la résine étant encore poisseuse).
- Imprégner les fibres en place à l'aide de Sikadur® - 52 tout en les plaquant dans les encoches.
- Remplir les encoches à l'aide de la résine Sika AnchorFix® -3030 (ou Sikadur®-330) jusqu'à rassembler la surface.

Application des bandes de tissu SikaWrap® en recouvrement :

- Frais sur frais ou dans les 24 heures qui suivent la mise en œuvre de la mèche, appliquer la résine Sikadur®-330 (ou Sikadur®-300 suivant la rugosité du support et du tissu à appliquer) sur le support en recouvrant la mèche scellée, pour permettre l'application du tissu de renforcement SikaWrap®.

2.7.11. Finition et Protection des procédés SikaWrap®

Une fois la mise en œuvre terminée, les renforts PRFC des procédés SikaWrap® peuvent être recouverts pour des raisons esthétiques (aspect type béton, finition colorée) ou techniques (protection anti UV, abrasion hydraulique, choc, trafic, ...). Il convient alors de choisir parmi les possibilités décrites ci-dessous. La protection au feu est un cas particulier.

2.7.11.1. Protection anti UV, esthétique, température en service

La protection anti UV ou esthétique peut être assurée par un des systèmes suivants :

- Produits à base de polymères : gamme Sikagard® (-675 W, -5500, -680 S) ou Sikafloor® (-400 N, -264).

Le coloris est à définir suivant teinte retenue sur un nuancier RAL. Dans le cas d'une exposition directe au rayonnement solaire, il est recommandé de choisir un revêtement de couleur claire.

Préparation avant l'application de revêtement à base de polymères:

Immédiatement après la fin de mise en œuvre de la couche de tissu, appliquer une couche de colle Sikadur® (-300 ou -330 suivant le type du tissu) au pinceau. Laisser durcir au minimum 24h avant d'appliquer le revêtement Sikagard® ou Sikafloor® généralement en 2 couches (consulter la Notice Produit).

- Produits à base de liant hydraulique : gamme de mortiers minces SikaTop®, Sika MonoTop®, Sikafloor Level de couleur gris béton ou enduits traditionnels, enduits de façades monocouches colorés, enduit plâtre, etc...

Préparation avant l'application de revêtement à base de liant hydraulique:

Immédiatement après la fin de mise en œuvre de la couche de tissu, appliquer une couche de colle Sikadur® (-300 ou -330 suivant le type du tissu). Puis la saupoudrer à l'état frais par jet à la volée ou par pressage de sable de quartz propre et sec de granulométrie 0,7/1,3 mm par exemple. Laisser durcir au minimum 24h et aspirer les restes de sable avant d'appliquer les mortiers à base de liant hydraulique.

Température d'exploitation de l'ouvrage en service continu permanent est fixée à +35 °C. Au-delà de cette température d'exploitation (cas de certaines zones en industrie notamment) il est nécessaire d'assurer la durabilité du renforcement en protégeant le plan de collage.

2.7.11.2. Protection / contact avec l'eau

Pour les cas où les composites SikaWrap® sont mises en œuvre dans des situations telles que le contact sera régulier ou permanent avec l'eau (cas des bassins, réservoirs, cuves, station d'épuration, autres ouvrages hydrauliques), il est nécessaire d'assurer la durabilité du renforcement de l'ouvrage en réalisant une protection avec un système Sikagard®-63 N ou un système d'imperméabilisation par revêtement mince (Sikatop®-121, ou -107) ou équivalent.

2.7.11.3. Protection vis-à-vis des chocs, usures, abrasion

Certaines applications des composites SikaWrap® peuvent nécessiter une protection complémentaire particulière pour résister et assurer la durabilité du renforcement de l'ouvrage vis-à-vis d'agressions physiques et mécaniques.

Suivant le cas particulier, réaliser une protection à base de mortier hydraulique Sika MonoTop®- 2400R ou -3400, Sika MonoTop®-4012F ou 410 R, ou de revêtement autolissant coloré à base de résine Sikafloor®.

2.7.11.4. Protection au feu des renforts PRFC (Stabilité au feu des structures à renforcer)

Le procédé de renforcement SikaWrap® ne présente pas en l'état de résistance particulière au feu.

Lorsque la structure à renforcer est justifiée selon la norme NF EN 1992-1-2 et son Annexe Nationale en prenant en compte uniquement les armatures acier de béton armé existants, aucune disposition de protection au feu est à prévoir.

Dans le cas contraire, il faut prévoir une protection rapportée sur le procédé SikaWrap®. Cette protection (dont la performance et les caractéristiques selon les possibilités de mise en œuvre seront appréciées) sera justifiée, afin que la température selon la durée d'exposition ne dépasse pas la température de transition vitreuse de la colle Sikadur® considérée (Sikadur®-330 ou Sikadur®-300 pour le procédé SikaWrap®) dans le plan de collage. La protection utilisée devra bénéficier d'un PV de résistance au feu délivré par un laboratoire agréé par le ministère de l'Intérieur sur support identique.

Lorsqu'un flocage doit être appliqué directement sur les tissus SikaWrap®, la surface doit être parfaitement dégraissée, puis recevoir une couche de résine Sikadur®, saupoudrée à l'état frais de sable de quartz propre et sec de granulométrie 0,7/1,3 mm.

2.7.11.5. Protection contre la corrosion

Les procédés SikaWrap® sont à base de fibres de carbone et de résine époxy : aussi contrairement aux renforts traditionnels en acier, ils sont insensibles à la corrosion. Aucune protection particulière n'est ainsi nécessaire pour assurer la durabilité du renforcement.

2.7.12. Contrôle des travaux

Le contrôle interne (autocontrôle) est réalisé par l'équipe qui met en œuvre les procédés SikaWrap®. Le plan de contrôle défini par l'entreprise reprend les différents points à contrôler avant, pendant, et après la mise en œuvre. Les annexes de ce document présentent un exemple de fiches d'autocontrôle.

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

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

Le contrôle externe est réalisé par le maître d'œuvre ou le contrôleur technique du chantier considéré.

A- Contrôles avant la mise en œuvre

- Plan de pose des renforts PRFC disponible ;
- Produits disponibles sur site et stockage conforme aux indications des Notices Produit ;
- Test sur la qualité et la cohésion de surface du béton préparé selon le protocole de la norme NF EN 1542 : > 1,5 MPa. Dans le cas contraire, l'entreprise doit informer immédiatement le maître d'œuvre et/ou le contrôleur technique des valeurs obtenues ;
- Vérification de l'état du support préparé : tolérance de planéité et de texture, traitement des éclats de béton avec ou sans armatures apparentes, fissures traitées ou injectées, angles arrondis, balèbres et arrêtes meulées ou poncées, absence de poussières ... ;
- Vérifications des conditions favorables de température de l'ambiance et du support, de l'humidité relative, du point de rosée (absence de condensation sur le support pendant les opérations de collage) ;
- Pour les travaux en extérieur : bonnes conditions climatiques sans pluie, gel dégel ;
- Vérification de la disponibilité des EPI (Equipements de Protection Individuelle) pour l'ensemble du personnel et du matériel nécessaire à la mise en œuvre ;
- Relevé des N° de lots des produits qui seront utilisés lors de la mise en œuvre.

B- Contrôle lors la mise en œuvre

- Bon état des produits juste avant la réalisation du mélange ;
- Homogénéité du mélange des produits (couleur et consistance) ;
- Suivi de la procédure d'application (voir exemple de fiches d'autocontrôle en annexe) ;
- Vérifier que le collage est continu sur toute la surface des renforts ;
- Détecter la présence éventuelle de vides. Tout défaut décelé peut faire l'objet d'une injection à l'aide du Sikadur®-52.
- En complément et si cela est prévu dans le cadre du marché :
- Vérification de la résistance des colles durcies Sikadur®-330, -300 par mesurage de la dureté shore D sur échantillons prélevés, à l'aide d'un duromètre (après 2 j à 20°C, > 70).

Sur une (des) zone(s) témoin représentative(s) choisie(s) en accord avec le maître d'œuvre prévoir le collage de bandes de PRFC témoin qui feront après durcissement du collage (généralement à échéance 7 jours à 20°C) l'objet d'essai d'adhérence par traction directe selon la norme NF EN 1542. Le nombre de pastilles est à définir avec le maître d'œuvre. Il faut noter que ces essais sont destructifs et ne permettent pas de compter sur le renfort, qui aura été testé, pour la résistance de la structure renforcée.

2.8. Maintien en service du produit ou procédé

Il convient d'assurer la durabilité du système de renforcement, pour la durée d'utilisation du projet, en tenant compte des classes d'exposition, avec des mesures de protection supplémentaires si nécessaire.

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

2.9. Traitement en fin de vie

Par sa conception, un matériau PRFC est hétérogène et de structure complexe. D'un point de vue technique, recycler un matériau composite semble difficile et l'équation économique de l'opération apparaît complexe. D'autant qu'aujourd'hui encore, les volumes des composites en fin de vie restent relativement faibles comparés à d'autres matériaux (plastique, acier...).

Le recyclage des PRFC est possible. Lorsque le matériau arrive en fin de vie et que la mise en place de nouvelles filières de traitement des composites serait finalisée, les fibres de carbone trouvées dans déchets composites pourraient être revalorisées.

2.10. Assistante technique

2.10.1. Assistance technique lors du dimensionnement

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

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

2.10.2. Qualification de l'entreprise applicatrice des procédés SikaWrap®

Le Maître de l'ouvrage et le Maître d'œuvre doivent faire appel à une entreprise applicatrice qualifiée, expérimentée, assurée pour la réalisation des travaux de renforcement.

De plus, afin de respecter les spécifications de mise en œuvre des procédés décrits dans le présent Dossier Technique, le personnel de l'entreprise doit être formé à l'utilisation des produits (composites PRFC, produits associés et complémentaires) par le service Formation Sika.

A la suite à cette formation, chaque personne formée reçoit un certificat qui atteste qu'elle a suivi le programme de formation spécialisé relatif à l'utilisation et à la mise en œuvre des produits et procédés SikaWrap®.

2.10.3. Démarrage de chantier

Sur demande de l'entreprise, Sika assure l'assistance technique pour démonstration de la mise en œuvre des produits lors du démarrage du chantier.

2.11. Principes de fabrication et de contrôle de cette fabrication

Le système de management de la Qualité de Sika France est en conformité avec la norme ISO 9001 : 2008 pour la conception, fabrication et commercialisation de l'ensemble des produits pour la construction et l'industrie.

Les résines Sikadur® font l'objet du marquage CE obligatoire sur les produits de collage de renforts structuraux suivant la norme NF EN 1504-9, sous système d'attestation 2+ (Essais sur produits réalisés en usine, avec inspection et surveillance continue de la production en usine par un tiers externe).

L'Avis Technique du procédé SikaWrap® 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.

2.12. Mention des justificatifs

- Essai d'adhérence sur béton, par traction directe, par cisaillement, avant et après vieillissement accéléré, LCPC.
- Essai de traction uni axiale et de traction cisaillement interlaminaire, avant et après vieillissement accéléré, LGCIE.
- Rapport d'essais EPFL n°97.02 Carbon fiber shear strengthening of rectangular concrete beams.
- Rapport d'essais EMPA n°405552E shear strengthening with CFRP fabric.
- Rapport d'essais EMPA n°200137E/1 shear strengthening with CFRP fabric.
- Essai de tenue aux UV du composite SikaWrap, Sika.
- LMC2 – Mai 2016 – Caractérisation du tissu SikaWrap 600 C – Essai Cisaillement – Double recouvrement.
- LMC2 – Septembre 2015 – Caractérisation du tissu SikaWrap 600C – Traction et cisaillement interlaminaire.
- Sika – Mars 2016 – Glass Transition Temperature of Sikadur 300 cured at 23°C.
- LMC2 – Septembre 2015 – Caractérisation du tissu SikaWrap 300C – Traction et cisaillement interlaminaire.
- LMC2 – Septembre 2015 – Caractérisation du tissu SikaWrap 600C – Traction et cisaillement interlaminaire.

- LMC2 – July 2018 - Characterisation of SikaWrap 300C – double lap shear test.
- LMC2 – July 2018 – SikaWrap FX 50C – Characterisation of anchorage behavior – modified pull-out tests.
- Politecnico Di Milano – 2014 – tensile and pull-out tests from concrete blocks on SikaWrap FX 50C impregnated with Sikadur 52.
- Rapport d'essais TFB AG n°232424-03 évaluation de durabilité de scellement Sika Anchorfix®-3030 après 400 cycles selon SN 640 464 / VSS 40 464: 2019.
- Rapport d'essais IBMB n°1201/488/18- 26/03/2019 évaluation durabilité Sikadur®-52 selon EN 12618-2.
- Rapport d'essais ITB n°LZK00-01021 évaluation durabilité SikaWrap® FX-50C selon EN 1542 :2000.
- Rapport d'essais N°: 12-187 – SikaWrap FX-50C encrage tissus SikaWrap®, Sika, 2013.

2.12.1. Références chantiers

| | | | |
|------|-----------------------|--|--------|
| 2018 | Reims (51) | La Tour des argonautes : renforcement à l'effort tranchant des poutres BA (SikaWrap®-230C) | 240 ml |
| 2018 | Bayonne (64) | Bâtiment ERP (Gare) : renforcement des poutres BA à l'effort tranchant (SikaWrap®-230C, SikaWrap® FX-50C) | 500 mL |
| 2019 | Bois-Colombes (92) | Bâtiment ERP (Lycée) : renforcement des poutres BA à l'effort tranchant (SikaWrap®-230C, SikaWrap® FX-50C) | 450 mL |
| 2021 | Arleux (62) | UNÉAL COOPÉRATIVE : renforcement des voiles BA en flexion (SikaWrap®-600C) | 350 mL |
| 2021 | Marseille (13) | LEROY MERLIN-GRAND LITTORAL : renforcement des poutres BA à l'effort tranchant (SikaWrap®-230C) | 100 ml |
| 2022 | Bompas (84) | ASF DOI EST : renforcement des dalles BA en flexion (SikaWrap®-600C) | 750 mL |
| 2021 | Montpellier (34) | SOCRI développement : renforcement des poutres à l'effort tranchant, dalles BA en flexion (SikaWrap®-230C) | 500 mL |
| 2021 | Marché de Rungis (94) | SEMMARIS : renforcement d'une voile BA en flexion (SikaWrap®-600C) | 250 mL |
| 2021 | CAEN (14) | DIRNO : renforcement des poutres à l'effort tranchant et dalles BA en flexion (SikaWrap®-600C) | 400 mL |
| 2022 | La Turbie (06) | EON GENIE CIVIL : renforcement en sous face d'une dalle BA en flexion (SikaWrap®-600C) | 350 ml |
| 2022 | Monaco | Direction de la sureté publique : ancrage tissu SikaWrap®-230C, mèche SikaWrap® FX-50C, renforcement des poutres BA à l'effort tranchant | 25 ml |

2.13. Annexe du Dossier Technique

2.13.1. Annexe 1 – Caractéristiques des composites SikaWrap®

| | SikaWrap®- 300 C | SikaWrap®-230 C | SikaWrap®- 600 C |
|---|------------------|-----------------|------------------|
| Epaisseur nominale t_r [mm] | 0,167 | 0,13 | 0,33 |
| Module d'élasticité, valeur moyenne, E_f [GPa] | 225 | 225 | 235 |
| Module d'élasticité, valeur caractéristique, E_{fk} [GPa] | 220 | 220 | 200 |
| Contrainte de traction à la rupture, valeur moyenne, f_{fu} [MPa] | 3500 | 3500 | 3000 |
| Contrainte de traction à la rupture, valeur caractéristique, f_{fk} [MPa] | 3200 | 3200 | 2400 |
| Allongement à la rupture valeur moyenne, ε_{fu} [%] | 1,7 | 1,7 | 1,4 |
| Allongement à la rupture valeur caractéristique, ε_{fk} [%] | 1,56 | 1,56 | 1,33 |

Caractéristiques en traction des composites SikaWrap®

| Propriétés de calcul / Composites | SikaWrap®-230 C – Sikadur®-330 | SikaWrap®-300 C – Sikadur®-330 | SikaWrap®-600 C – Sikadur®-300 |
|---|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|
| Epaisseur nominale t_f [mm] | 0,13 | 0,167 | 0,33 |
| Module d'élasticité, valeur moyenne, E_f | 225 000 MPa | 225 000 MPa | 235 000 MPa |
| Résistance de calcul ELU f_{fud} | 1625 MPa | 1625 MPa | 1370 MPa |
| Allongement de calcul ELU ε_{fud} | 0,72 % | 0,72 % | 0,6 % |
| Résistance de calcul ELS f_{fd} | 1138 MPa | 1138 MPa | 960 MPa |

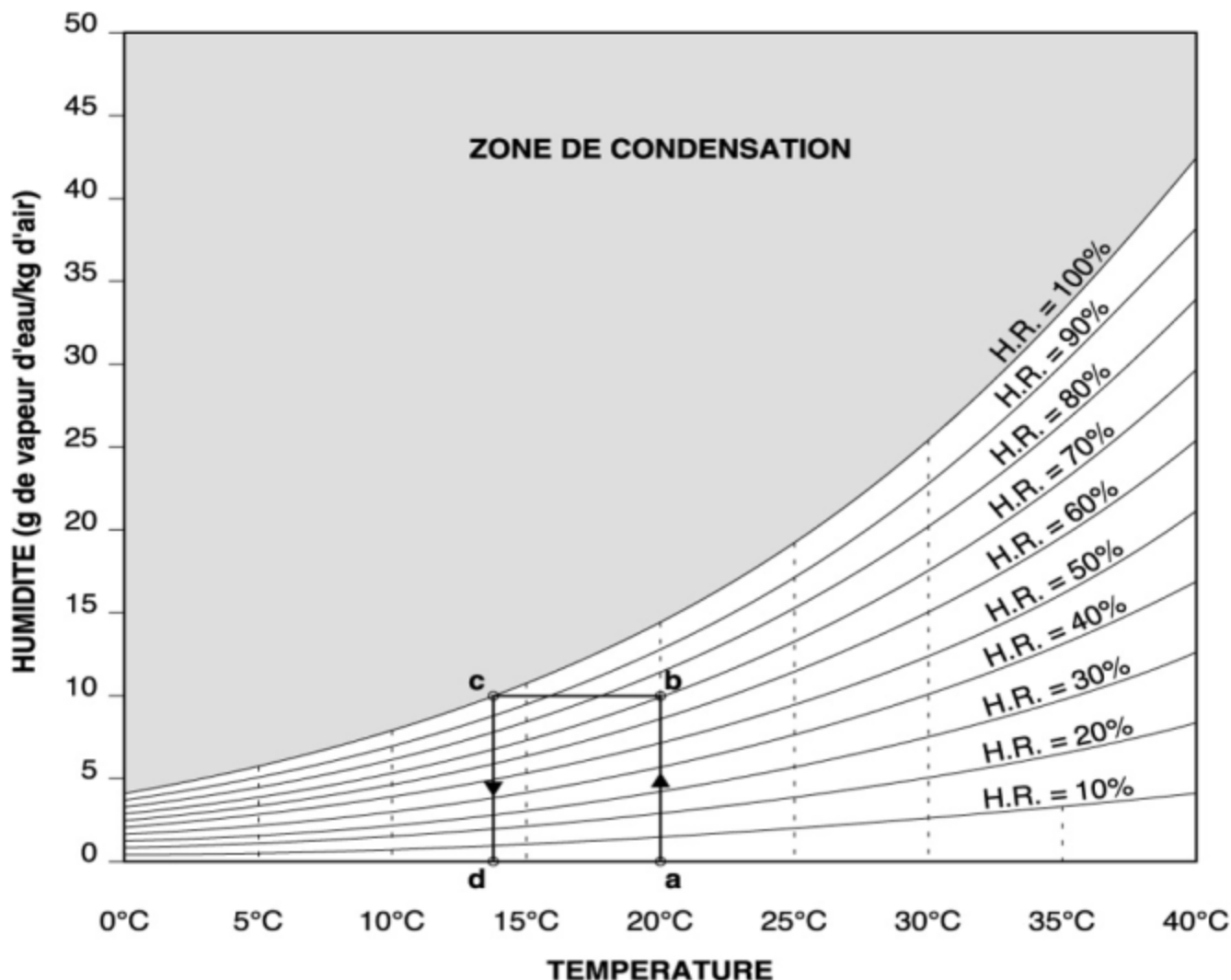
Loi de comportement des composites Sika Wrap® selon AFGC-2003, rev.2007

| Propriétés de calcul / Composites | SikaWrap®-230 C – Sikadur®-330 | SikaWrap®-300 C – Sikadur®-330 | SikaWrap®-600 C – Sikadur®-300 |
|---|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|
| Epaisseur de calcul de composite t_r [mm] | 0,13 | 0,167 | 0,33 |
| Module d'élasticité, valeur caractéristique, E_{fk} | 220 000 MPa | 220 000 MPa | 200 000 MPa |
| Résistance en traction valeur caractéristique f_{fk} | 3200 MPa | 3200 MPa | 2400 MPa |
| Allongement à la rupture valeur caractéristique, ε_{fk} | 1,56 % | 1,56 % | 1,33 % |
| Résistance de calcul ELU f_{fud} | 1616 MPa | 1616 MPa | 1212 MPa |
| Résistance de calcul ELS f_{fd} | 1050 MPa | 1050 MPa | 788 MPa |

Loi de comportement des composites Sika Wrap® selon TR-55

2.13.2. Annexe 2 – Contrôle du risque de condensation sur le support

Pour contrôler le risque de condensation, il est possible d'utiliser soit le diagramme de Mollier ci-dessous soit d'utiliser un thermo hygromètre (mesurage de la température ambiante, de l'humidité relative, de la température du point de rosée) et un thermomètre de surface (mesurage de la température de la surface du support à renforcer). La température du support doit être supérieure à la température du point de rosée augmentée de 3 degrés.



Ce diagramme permet de contrôler le risque de condensation sur les supports.

Il faut connaître trois paramètres :

- La température ambiante ;
- L'humidité relative de l'air ;
- La température du support.

Un exemple est donné pour une température ambiante de 20°C et une humidité relative de 70 % :

Pointer la température ambiante (point a),

Prendre la verticale jusqu'à couper la courbe correspondante à l'humidité relative (point b),

Suivre l'horizontale jusqu'à couper la courbe humidité relative égale 100 % (point c),

Lire la température à la verticale de ce dernier point (point d).

Cette température est celle du support en dessous de laquelle il y a condensation.

La température du support doit donc être supérieure à cette dernière valeur augmentée de 3 degrés.

Exemple : pour une température ambiante de 20°C et une humidité relative HR de 70 %, la température du support doit être supérieure à 17°C (soit 14°C + 3°C).

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

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

Tableau des points de rosée :

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

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

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

1 Les températures du point de rosée sont arrondies au degré supérieur.

2.13.3. Annexe 3 – Fiches de contrôle interne à l'entreprise

| Fiche N° 1 - Contrôles préalables à la mise en œuvre des renforts PRFC | | |
|---|-------------------------------|---|
| Entreprise : Date : | | |
| Référence chantier : | | |
| Type de structure à renforcer (poutre, dalle, poteau) : | | |
| Nature du support : | | |
| Localisation de l'application (référence, plan, étage, ...) : | | |
| | | |
| Nom de la personne chargée du contrôle interne : | | |
| Éléments à contrôler | conforme Oui / Non | Actions correctives |
| Diagnostic de la structure disponible Support contaminé par chlorures, sulfates, autres agents... | | Demande au maître d'œuvre si besoin |
| Préparation du support Absence de revêtement existant et imprégnation (peinture, revêtements, flocage, plâtre, hydrofuges de surface, ...) | | Élimination des revêtements : décapage par sablage, lavage eau haute pression, ponçage, ... |
| Absence de laitance, huile, graisse, lichens, mousses, | | Élimination de la laitance et des impuretés : sablage, lavage eau haute pression, ponçage, |
| Absence de fissure inerte de largeur > 0,3 mm | | Réparation, rebouchage ou injection selon NF P 95103 |
| Absence d'éclats de béton avec ou sans armatures apparentes, de zones ségréguées (nids de cailloux) | | Réparation suivant DTU 42.1, NF P 95101 |
| Absence de défauts de surface : bullage, cavités | | Réparation, surfacage DTU 42.1, NF P 95101 |
| Absence d'arêtes vives | | Arête à abattre ou arrondir par ponçage |
| Angles de poutre ou de poteau arrondis (Rayon mini = 20 mm) | | Angles à arrondir par ponçage |
| Planéité de surface : 8 mm sous la règle de 2 m | | Ponçage, réparation |
| Cohésion de support et des éventuelles réparations existantes : Mesurage de la cohésion superficielle du béton par traction directe (essai de pastillage avec appareil sattec) après préparation, selon NF EN 1542 : moyenne des valeurs $\geq 1,5$ MPa Note : le nombre de pastilles, la(les) zone(s) à tester sont à définir avec le maître d'œuvre | | Rendre compte au maître d'œuvre/contrôleur technique pour arbitrage : - Nouveau mesurage, - Décapage puis reconstitution du béton de surface (NF P 95101, DTU 42.1) |
| Plan de pose des renforts disponible avec type de renforts PRFC, nombre de couches, espacement entre renforts, longueur des renforts, | | Obtenir document auprès du bureau d'études d'exécution |
| Liste du Matériel et EPI disponibles pour tout le personnel | | Obtenir information auprès de l'encadrement de chantier |
| Conditions de stockage et de conservation des produits conformément aux Notices produits (à l'abri du soleil, de la pluie, température 10 à 20 °C recommandée) | | Mise en stockage conforme |

Fiche N° 2 - Contrôles lors de la mise en œuvre du tissu SikaWrap®-230 C

Entreprise : Date :

Référence chantier :

Type de structure à renforcer (poutre, poteau) :

Nature du support :

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

.....

Nature du renfort utilisé (référence du tissu) : (ex : SikaWrap-230 C largeur 300 ou 600 mm)

N° de lot des produits (tissu, colle Sikadur-330) :

Nom de la personne chargée du contrôle interne :

| Éléments à contrôler | conforme Oui / Non | Actions correctives |
|--|-----------------------|---|
| Absence de pluie, de gel, de poussière sur l'élément à renforcer et la zone de travail | | Attente des conditions favorables ou mise en œuvre de mesures de protection de la zone de travail pour être à l'abri. |
| Vérification des conditions de température : support / ambiance/ produits température : +10°C / +35°C (idéal : ≈ 20°C) | | Attente des conditions favorables ou mise en œuvre de mesures (réchauffement ou refroidissement) pour être à l'abri. Stocker les produits dans un local à température contrôlée |
| Contrôle du risque de condensation (voir méthode en Annexe 1) Mesurage de la température ambiante, du taux d'humidité relative, de la température de surface du support | | Voir § 2.7.6 Conditions générales d'application. Attente des conditions favorables ou mise en œuvre de mesures : réchauffer le support et l'air ambiant et/ou abaisser l'humidité de l'air (déshumidifier). |
| Liste du Matériel et EPI disponibles pour tout le personnel | | Obtenir information auprès de l'encadrement de chantier |
| Préparation du tissu SikaWrap-230 C - référence SikaWrap-230 C en accord avec le plan de pose - longueur et largeur du tissu suivant plan de pose - tissu en bon état pour le collage : aspect, tissage, absence de défaut, tissu à plat ou enroulé (non plié), tissu non effiloché, - aspect : non souillé, absence de poussière, de résidu gras, d'eau, ... | | Remplacement du tissu, référence conforme au plan ou à la note de calcul Découper une autre bande de tissu |
| Préparation de la colle Sikadur-330 Mélange des composants de la colle Sikadur pendant au moins 3 mn jusqu'à obtenir consistance homogène, couleur uniforme | | Poursuivre le malaxage à vitesse ≤ 300 tr/mn avec l'hélice Sikadur adaptée |
| Pose du tissu : méthode à sec sans imprégnation préalable du tissu - Repérage du positionnement sur le support : conforme au plan de pose | | Voir plan de pose |
| - Encollage du support : quantité suffisante pour imprégner le tissu lors du marouflage | | Régler quantité de colle pour imprégner le tissu avec la colle déposée sur le support |
| - placage du tissu sur le support encollé : tissu tendu | | Éliminer les plis, les fibres doivent être alignées |
| - Marouflage du tissu avec rouleau Sika dans le sens longitudinal des fibres : composite homogène, sans bulle d'air, sans plis | | Éliminer les bulles d'air et les plis, marouflage complémentaire |
| Cas de superposition de couches de tissu Immédiatement après l'application de la 1 ^{ère} couche - Application d'une couche de colle Sikadur-330 sur la 1 ^{ère} couche de tissu déjà en place - Placage du tissu et marouflage comme ci-dessus | | Si temps d'attente > 1h attendre 12 h au moins avant d'appliquer une nouvelle couche de tissu. Si l'application est faite après plus de 24 h d'attente, prévoir au préalable un léger ponçage, dépoussiérage et nettoyage avant d'appliquer la colle sur la 1 ^{ère} couche de tissu déjà en place |

Fiche N° 3 - Contrôles lors de la mise en œuvre du tissu SikaWrap®-300 C

Entreprise : Date :
 Référence chantier :
 Type de structure à renforcer (poutre, poteau) :
 Nature du support :
 Localisation de l'application (référence, plan, étage, ...) :

 Nature du renfort utilisé (référence du tissu) : (ex : SikaWrap-300 C largeur 100, 300 ou 600 mm)
 N° de lot des produits (tissu, colle Sikadur-330) :
 Nom de la personne chargée du contrôle interne :

| Éléments à contrôler | conforme Oui / Non | Actions correctives |
|---|-----------------------|---|
| Absence de pluie, de gel, de poussière sur l'élément à renforcer et la zone de travail | | Attente des conditions favorables ou mise en œuvre de mesures de protection de la zone de travail pour être à l'abri. |
| Vérification des conditions de température : support / ambiance/ produits température : +10°C / +35°C (idéal : ≈ 20°C) | | Attente des conditions favorables ou mise en œuvre de mesures (réchauffement ou refroidissement) pour être à l'abri. Stocker les produits dans un local à température contrôlée |
| Contrôle du risque de condensation (voir méthode en Annexe 1) Mesurage de la température ambiante, du taux d'humidité relative, de la température de surface du support | | Voir § 2.7.6 Conditions générales d'application. Attente des conditions favorables ou mise en œuvre de mesures : réchauffer le support et l'air ambiant et/ou abaisser l'humidité de l'air (déshumidifier). |
| Liste du Matériel et EPI disponibles pour tout le personnel | | Obtenir information auprès de l'encadrement de chantier |
| Préparation du tissu SikaWrap-300 C - référence SikaWrap-300 C en accord avec le plan de pose - longueur et largeur du tissu suivant plan de pose - tissu en bon état pour le collage : aspect, tissage, absence de défaut, tissu à plat ou enroulé (non plié), tissu non effiloché, - aspect : non souillé, absence de poussière, de résidu gras, d'eau, ... | | Remplacement du tissu, référence conforme au plan ou à la note de calcul Découper une autre bande de tissu |
| Préparation de la colle Sikadur-330 Mélange des composants de la colle Sikadur pendant au moins 3 mn jusqu'à obtenir consistance homogène, couleur uniforme | | Poursuivre le malaxage à vitesse ≤ 300 tr/mn avec l'hélice Sikadur adaptée |
| Pose du tissu : méthode à sec sans imprégnation préalable du tissu - Repérage du positionnement sur le support : conforme au plan de pose - Encollage du support : quantité suffisante pour imprégner le tissu lors du marouflage - placage du tissu sur le support encollé : tissu tendu - Marouflage du tissu avec rouleau Sika dans le sens longitudinal des fibres : composite homogène, sans bulle d'air, sans plis | | Voir plan de pose Régler quantité de colle pour imprégner le tissu avec la colle déposée sur le support Éliminer les plis, les fibres doivent être alignées Éliminer les bulles d'air et les plis, marouflage complémentaire |
| Cas de superposition de couches de tissu Immédiatement après l'application de la 1ère couche - Application d'une couche de colle Sikadur-330 sur la 1ère couche de tissu déjà en place - Placage du tissu et marouflage comme ci-dessus | | Si temps d'attente > 1h attendre 12 h au moins avant d'appliquer une nouvelle couche de tissu. Si l'application est faite après plus de 24 h d'attente, prévoir au préalable un léger ponçage, dépoussiérage et nettoyage avant d'appliquer la colle sur la 1ère couche de tissu déjà en place |

Fiche N° 4 - Contrôles lors de la mise en œuvre du tissu SikaWrap®-600 C

Entreprise : Date :
 Référence chantier :
 Type de structure à renforcer (poutre, poteau) :
 Nature du support :
 Localisation de l'application (référence, plan, étage, ...) :

 Nature du renfort utilisé (référence du tissu) : SikaWrap-600 C largeur 300 mm
 N° de lot des produits (tissu, colles Sikadur-300, Sikadur-330) :
 Nom de la personne chargée du contrôle interne :

| Éléments à contrôler | conforme Oui / Non | Actions correctives |
|--|-----------------------|--|
| Absence de pluie, de gel, de poussières sur la zone de travail | | Attente des conditions favorables ou mise en œuvre de mesures de protection de la zone de travail pour être à l'abri. |
| Vérification des conditions de température : support / ambiance/ produits température : +15°C / +40°C (idéal : ≈ 20°C) | | Attente des conditions favorables ou mise en œuvre de mesures (réchauffement ou refroidissement) pour être à l'abri. Stocker les produits dans un local à température contrôlée |
| Contrôle du risque de condensation (voir méthode en Annexe 1) Mesurage de la température ambiante, du taux d'humidité relative, de la température de surface du support | | Voir § 2.7.6 Conditions générales d'application. Attente des conditions favorables ou mise en œuvre de mesures : réchauffer le support et l'air ambiant et/ou abaisser l'humidité de l'air (déshumidifier). |
| Liste du Matériel et EPI disponibles pour tout le personnel | | Obtenir information auprès de l'encadrement de chantier |
| Cas du confinement de poteau | | |
| Angles de poteau arrondis conformément au plan ou à la note de calcul | | Arrondir les angles conformément au plan ou note de calcul, par ponçage |
| Cas de poutres à renforcer à l'effort tranchant | | |
| Angles de poutre arrondis | | Angles à arrondir par ponçage |
| Préparation du tissu SikaWrap-600 C - référence SikaWrap-600 C en accord avec le plan de pose - longueur et largeur du tissu suivant plan de pose - tissu en bon état pour le collage : aspect, tissage, absence de défaut, tissu à plat ou enroulé (non plié), tissu non effiloché, - aspect : non souillé, absence de poussière, de résidu gras, d'eau, ... | | Remplacement du tissu, référence conforme au plan ou à la note de calcul Découper une autre bande de tissu |
| Préparation de la colle Sikadur-300 Mélange des composants de la colle Sikadur pendant au moins 3 mn jusqu'à obtenir consistance homogène, couleur uniforme | | Poursuivre le malaxage à vitesse ≤ 300 tr/mn avec l'hélice Sikadur adaptée |
| Pose du tissu : avec imprégnation préalable du tissu - Repérage du positionnement sur le support : conforme au plan de pose - Imprégnation complète du tissu sur un plan de travail | | Voir plan de pose Ajouter de la colle Sikadur pour assurer l'imprégnation complète du tissu |
| - Encollage complet du support avec Sikadur-300 (ou Sikadur-330 si support rugueux, en sous-face ou plusieurs couches) | | Imprégner à nouveau le support |
| - placage du tissu sur le support encollé : tissu tendu | | Éliminer les plis, les fibres doivent être alignées |
| - Marouflage du tissu avec rouleau Sika dans le sens longitudinal des fibres : composite homogène, sans bulle d'air, sans plis | | Éliminer les bulles d'air et les plis, marouflage complémentaire |
| Cas de superposition de couches de tissu ou application en sous-face | | |
| Immédiatement après l'application de la 1 ^{ère} couche - Application d'une couche de colle Sikadur-300 sur la 1 ^{ère} couche de tissu déjà en place - Placage du tissu et marouflage comme ci-dessus | | Si temps d'attente > 1 h attendre 12 h au moins avant d'appliquer une nouvelle couche de tissu. Si l'application est faite après plus de 24 h d'attente, prévoir au préalable un léger ponçage, dépoussiérage et nettoyage avant d'appliquer la colle sur la 1 ^{ère} couche de tissu déjà en place |

Fiche N° 5 - Contrôles lors de la mise en œuvre de la mèche SikaWrap®-FX 50C

| Entreprise : Date : Référence chantier : Type de structure à renforcer (poutre, poteau) : Nature du support : Localisation de l'application (référence, plan, étage, ...) : Nature du renfort utilisé (référence de la mèche) : SikaWrap-FX 50C N° de lot des produits (colle Sikadur-52 / -300 / -330 et Sika AnchorFix 3030) : Nom de la personne chargée du contrôle interne : | | |
|--|-----------------------|--|
| Eléments à contrôler | Conforme Oui / Non | Actions correctives |
| Absence de pluie, de gel, de poussières sur la zone de travail | | Attente des conditions favorables ou mise en œuvre de mesures de protection de la zone de travail pour être à l'abri. |
| Vérification des conditions de température : Support / ambiance/ produits Température : +15°C / +40°C (Idéal : ≈ 20°C) | | Attente des conditions favorables ou mise en œuvre de mesures (réchauffement ou refroidissement) pour être à l'abri. Stocker les produits dans un local à température contrôlée |
| Contrôle du risque de condensation (voir méthode en Annexe 1) Mesurage de la température ambiante, du taux d'humidité relative, de la température de surface du support | | Voir § 2.7.6 Conditions générales d'application. Attente des conditions favorables ou mise en œuvre de mesures : réchauffer le support et l'air ambiant et/ou abaisser l'humidité de l'air (déshumidifier). |
| Liste du Matériel et EPI disponibles pour tout le personnel | | Obtenir information auprès de l'encadrement de chantier |
| Angles à arrondir en sortie de trou de scellement | | Angles à arrondir avec une fraise toupie à béton ou un foret de plus gros diamètre (ex. 25 mm) |
| Préparation de la mèche SikaWrap-FX 50C - référence SikaWrap-FX 50C en accord avec le plan de pose - nombre de mèches et découpe des longueurs suivant plan de pose - vérification du bon état de la mèche : protection par film plastique, absence de défauts, cordon non plié, fibres de carbone non emmêlées. - aspect : non souillé, absence de poussière, de résidu gras, d'eau, ... | | Remplacement de la mèche, référence conforme au plan ou à la note de calcul Découper une autre longueur de mèche |
| Préparation des résines Sikadur-52 / -300 / -330 Mélange des composants de la colle Sikadur pendant au moins 3 mn jusqu'à obtenir consistance homogène, couleur uniforme | | Poursuivre le malaxage à vitesse ≤ 300 tr/mn avec l'hélice Sikadur adaptée |
| Pose des mèches : - Repérage du positionnement sur le support : conforme au plan de pose - Imprégnation de la partie de la mèche à sceller sur un plan de travail + imprégnation des encoches avec Sikadur-52 / -300 - Remplissage du trou au ¾ par extrusion de Sika AnchorFix-3030 - Eviter l'inclusion d'air - Insertion de la partie de la mèche imprégnée dans le trou : mèche alignée dans le trou à l'aide du guide tige raidisseur - La résine en excès ressort du trou lors de l'insertion - Répartition équitable de la partie de mèche non imprégnée en 3 brins, les positionner dans les encoches, fibres alignées, sans plis et les imprégner (Sikadur-52 / -300) | | Voir plan de pose |
| | | Ajouter de la colle Sikadur pour assurer l'imprégnation complète des mèches et des encoches |
| | | Eliminer les plis, les fibres doivent être alignées |
| | | Retirer immédiatement la mèche et recommencer le scellement |
| | | |
| - Remplissage des encoches avec Sika AnchorFix 3030 ou Sikadur 330 - A raser la surface | | |
| Application du tissu SikaWrap en recouvrement de la mèche SikaWrap FX-50C Frais sur frais ou dans les 24 heures qui suivent la mise en œuvre de la mèche : - Application d'une couche de colle Sikadur-330 ou -300 (suivant le type de tissu, le nombre de couches et la rugosité du support) sur la mèche en place - Préparation, installation du tissu et marouflage suivant les fiches d'autocontrôles n°1 à 4 | | |
| | | Si l'application est faite après plus de 24 h d'attente, prévoir au préalable un léger ponçage, dépoussiérage et nettoyage avant d'appliquer la colle Sikadur pour le tissu. |