

Prévue à remplacer SIA 166:2004

Klebebewehrungen für die Verstärkung bestehender Tragwerke

Armature collate per il rinforzo di strutture portanti esistente

Externally bonded reinforcement for strengthening of existing structures

## Armatures collées pour le renforcement de structures porteuses existantes

### Projet mis en consultation prSIA 166:2023-04

Nous vous prions de bien vouloir examiner le document et de nous transmettre vos éventuelles prises de position, classées selon les numéros du document, à l'adresse de [SIA166@sia.ch](mailto:SIA166@sia.ch)

Nous vous prions de n'utiliser à cet effet que le formulaire électronique qui peut être téléchargé [www.sia.ch/consultations](http://www.sia.ch/consultations) Nous ne pouvons malheureusement pas prendre en considération les prises de position nous parvenant sous une autre forme.

Échéance de la consultation: 14 juillet 2023

**Ce projet n'a aucune validité et ne doit en aucun cas servir de référence.**

661

Les rectificatifs éventuels concernant la présente publication sont disponibles sous [www.sia.ch/rectificatif](http://www.sia.ch/rectificatif).

La SIA décline toute responsabilité en cas de dommages qui pourraient survenir du fait de l'application de la présente publication.

## TABLE DES MATIÈRES

|                           | Page                                                                                                            |           | Page                                                           |
|---------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|----------------------------------------------------------------|
| <b>Avant-propos</b> ..... | <b>4</b>                                                                                                        | <b>6</b>  | <b>Execution</b> ..... <b>45</b>                               |
| <b>0</b>                  | <b>Champ d'application</b> .....                                                                                | <b>5</b>  |                                                                |
| 0.1                       | Délimitation.....                                                                                               | 5         | 6.1 Généralités .....45                                        |
| 0.2                       | Références normatives .....                                                                                     | 5         | 6.2 Evaluation et contrôle du support.....45                   |
| 0.3                       | Déroptions.....                                                                                                 | 6         | 6.3 Préparation du support.....45                              |
| <b>1</b>                  | <b>Terminologie</b> .....                                                                                       | <b>7</b>  | 6.4 Montage .....47                                            |
| 1.1                       | Termes et définitions.....                                                                                      | 7         | 6.5 Contrôle de qualité .....48                                |
| 1.2                       | Symboles, termes et unités .....                                                                                | 9         | 6.6 Protection contre les substances agressives ....48         |
| 1.3                       | Modes de construction .....                                                                                     | 11        | 6.7 Surveillance et entretien .....49                          |
| <b>2</b>                  | <b>Principes</b> .....                                                                                          | <b>12</b> |                                                                |
| 2.1                       | Généralités.....                                                                                                | 12        |                                                                |
| 2.2                       | Matériaux de construction .....                                                                                 | 12        |                                                                |
| 2.3                       | Analyse structurale et dimensionnement.....                                                                     | 12        |                                                                |
| 2.4                       | Durabilité .....                                                                                                | 13        |                                                                |
| 2.5                       | Sollicitation de longue durée.....                                                                              | 16        |                                                                |
| <b>3</b>                  | <b>Matériaux de construction</b> .....                                                                          | <b>18</b> |                                                                |
| 3.1                       | Support.....                                                                                                    | 18        |                                                                |
| 3.2                       | Système de renforcement.....                                                                                    | 18        |                                                                |
| 3.3                       | Colles.....                                                                                                     | 18        |                                                                |
| 3.4                       | Lamelles en acier.....                                                                                          | 19        |                                                                |
| 3.5                       | Lamelles en matériau composite .....                                                                            | 19        |                                                                |
| 3.6                       | Tissés et non-tissés en matériau composite.....                                                                 | 20        |                                                                |
| 3.7                       | Systèmes de précontrainte pour armatures collées.....                                                           | 21        |                                                                |
| 3.8                       | Moyens auxiliaires.....                                                                                         | 21        |                                                                |
| <b>4</b>                  | <b>Analyse structurale et dimensionnement</b> .....                                                             | <b>22</b> |                                                                |
| 4.1                       | Analyse structurale .....                                                                                       | 22        |                                                                |
| 4.2                       | Valeurs de dimensionnement .....                                                                                | 24        |                                                                |
| 4.3                       | Vérification de la sécurité structurale des renforcements de structures porteuses existantes en béton .....     | 25        |                                                                |
| 4.4                       | Vérification de la sécurité structurale des renforcements de structures existantes en acier .....               | 35        |                                                                |
| 4.5                       | Vérification de la sécurité structurale des renforcements de structures porteuses existantes en bois .....      | 37        |                                                                |
| 4.6                       | Vérification de la sécurité structurale des renforcements de structures porteuses existantes en maçonnerie..... | 39        |                                                                |
| 4.7                       | Vérification de l'aptitude au service.....                                                                      | 41        |                                                                |
| <b>5</b>                  | <b>Conception constructive</b> .....                                                                            | <b>43</b> |                                                                |
| 5.1                       | Principes .....                                                                                                 | 43        |                                                                |
| 5.2                       | Disposition spatiale de l'armature collée .....                                                                 | 43        |                                                                |
| 5.3                       | Mesures de protection constructives.....                                                                        | 44        |                                                                |
| 5.4                       | Mesures de protection contre l'incendie .....                                                                   | 44        |                                                                |
|                           |                                                                                                                 |           | <b>Annexe A (informative) Liste des termes</b> ..... <b>50</b> |

## AVANT-PROPOS

Au cours de la durée d'utilisation de nos ouvrages, qui est de 50 à 100 ans, les sollicitations et/ou les utilisations changent. Des dommages doivent également être réparés. Une mesure efficace pour préserver les ressources consiste à prolonger la durée d'utilisation des ouvrages en les renforçant. L'une des mesures de renforcement possibles est l'utilisation d'armatures collées.

Depuis l'élaboration de la première édition de la prénorme SIA 166 :2004 *Armatures collées* au début des années 2000, la technologie des armatures collées a évolué. Il existe de nouvelles technologies intéressantes pour le renforcement des structures porteuses, comme par exemple les lamelles pour rainures. En outre, la pratique a montré dans divers cas, que les armatures collées ne sont pas utilisées conformément au système. La révision visait donc à clarifier les bases techniques afin d'éviter autant que possible les erreurs d'utilisation. La prénorme existante a été fortement remaniée, adaptée à l'état de la technique et transformée en une norme SIA ordinaire.

Les principaux et majeurs changements de la nouvelle norme SIA 166 par rapport à la norme précédente sont les suivants

- Structure du contenu (nouveau comme dans la norme SIA 262)
- Thème durabilité et comportement à long terme
- Matériaux de construction conformes aux normes d'essai internationales actuelles
- Lamelles pour rainures
- Lamelles renforcées de fibres de carbone précontraintes
- Dimensionnement à la flexion, au confinement et à l'effort tranchant
- Calcul des énergies de rupture en fonction des valeurs caractéristiques de la résistance à la traction du béton (au lieu de valeurs moyennes)

L'objectif de l'utilisation d'armatures collées n'est pas toujours un renforcement. Des objectifs équivalents sont par exemple l'amélioration de la ductilité par le confinement d'éléments comprimés pour activer des états de contraintes de compression multiaxiaux ou le renforcement ciblé de mécanismes de rupture fragiles afin de déplacer la défaillance vers des endroits où se produisent des défaillances ductiles. Les armatures collées précontraintes permettent également d'améliorer l'aptitude au service (réduction des déformations et de l'ouverture des fissures).

L'effet des armatures collées est étroitement lié à l'état et au comportement des structures porteuses préexistantes dont les caractéristiques sont souvent insuffisamment connues et ne peuvent pas être modifiées à volonté. En règle générale, elle est déjà sollicitée, au moins par son poids propre, mais l'historique complet des sollicitations n'est pratiquement jamais connu. C'est pourquoi les armatures collées ne reprennent qu'une partie des actions qui se produisent après leur application, à moins qu'une participation plus étendue ne soit imposée par des mesures particulières (déchargement préalable, précontrainte). L'utilisation de matériaux de construction sans capacité d'écoulement (matériaux composites fibreux) et la prise en compte de supports présentant un comportement après rupture défavorable à la traction (béton, maçonnerie, bois) entraînent l'apparition de ruptures fragiles. Les états de ruine ont donc souvent leur origine dans la structure porteuse existante et peuvent se produire sans grandes déformations. Les preuves selon cette norme doivent permettre d'éviter ces états de ruine.

La technique de collage ne se limite pas au béton. La prénorme SIA 166 :2004 donnait déjà des indications sur le renforcement de l'acier, du bois et de la maçonnerie par des armatures collées. Dans la présente nouvelle norme SIA 166, des chapitres spécifiques ont été créés pour le renforcement de l'acier, du bois et de la maçonnerie, et ces chapitres ont été considérablement élargis.

Au niveau européen, l'élaboration de la deuxième génération des Eurocodes est en cours. Le thème du renforcement du béton armé par armature collée est traité dans l'annexe J. Le groupe de travail en a repris quelques méthodes de dimensionnement - à son avis judicieuses - légèrement adaptées dans la présente norme (confinement, renfort à l'effort tranchant). Il est en revanche d'avis que le dimensionnement à la flexion qui y est proposé n'est pas adapté à la pratique et il a présenté dans la présente norme un modèle de dimensionnement facile à appliquer et adapté à la pratique.

Le groupe de travail *Armatures collées* de la commission SIA 262 *Construction en béton* s'est fixé pour objectif de rédiger un document convivial qui reprend les méthodes de renforcement les plus récentes, montre les possibilités et les limites de la technologie et propose des méthodes de dimensionnement uniformes qui n'entravent toutefois pas le développement futur.

Groupe de travail SIA 166 *Armatures collées*

## 0 CHAMP D'APPLICATION

### 0.1 Délimitation

- 0.1.1 Les armatures collées au sens de la présente norme sont des armatures qui sont collées ultérieurement à des parties de la structure déjà existantes. Elles sont généralement utilisées dans le cadre de la maintenance des structures porteuses existantes.
- 0.1.2 Les armatures collées sont également utilisées de manière temporaire pour les installations de chantier (échafaudages et barrières) ou pour le transport d'éléments de construction.
- 0.1.3 La présente norme s'applique au projet et à l'exécution d'armatures collées sur les supports béton, acier, bois et maçonnerie pour la maintenance des structures existantes.
- 0.1.4 Ne font pas l'objet de cette norme (liste non exhaustive) :
- l'utilisation de matériaux composites fibreux comme armature intérieure du béton ou comme coffrage perdu d'éléments de construction en béton,
  - l'utilisation en tant qu'armature pour des éléments porteurs en bois nouvellement produits, sous forme de renforts collés incorporés ou appliqués,
  - l'utilisation de profilés en acier collés à des dalles de béton ou à d'autres éléments de construction en béton,
  - l'utilisation de la technique de collage à des fins d'assemblage au sein de la construction métallique, en bois, légère ou massive.

### 0.2 Références normatives

Le texte de la présente norme fait référence aux publications suivantes, dont les dispositions s'appliquent intégralement ou en partie selon ce qu'indique le renvoi. Les références non datées se rapportent à la dernière édition de la publication (pour les SN EN y compris les amendements), les références datées se rapportent à l'édition correspondante.

#### 0.2.1 Publications SIA

|                     |                                                                                                  |
|---------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Norme SIA 179       | Les fixations dans le béton et dans la maçonnerie                                                |
| Norme SIA 260       | Bases pour l'élaboration des projets de structures porteuses                                     |
| Norme SIA 261       | Actions sur les structures porteuses                                                             |
| Norme SIA 262       | Construction en béton                                                                            |
| Norme SIA 263       | Construction en acier                                                                            |
| Norme SIA 263/1     | Construction en acier - Spécifications complémentaires                                           |
| Norme SIA 265       | Construction en bois                                                                             |
| Norme SIA 265/1     | Construction en bois - Spécifications complémentaires                                            |
| Norme SIA 266 :2015 | Construction en maçonnerie                                                                       |
| Norme SIA 269       | Bases pour la maintenance des structures porteuses                                               |
| Norme SIA 269/1     | Maintenance des structures porteuses – Actions                                                   |
| Norme SIA 269/2     | Maintenance des structures porteuses – Structures en béton                                       |
| Norme SIA 269/3     | Maintenance des structures porteuses – Structures en acier                                       |
| Norme SIA 269/4     | Maintenance des structures porteuses – Structures mixtes acier-béton                             |
| Norme SIA 269/5     | Maintenance des structures porteuses – Structures en bois                                        |
| Norme SIA 269/6-2   | Maintenance des structures porteuses – Structures en maçonnerie – partie 2: briques et parpaings |

|                           |                                                |
|---------------------------|------------------------------------------------|
| Norme SIA 269/8           | Maintenance des structures porteuses – Séismes |
| Cahier technique SIA 2007 | La qualité dans la construction                |

### 0.2.2 Normes européennes

|                   |                                                                                                                                                                                                                                   |
|-------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| SN EN ISO 178     | Plastiques – Détermination des propriétés en flexion                                                                                                                                                                              |
| SN EN ISO 527-1   | Plastiques - Détermination des propriétés en traction - Partie 1: Principes généraux                                                                                                                                              |
| SN EN 1504-3:2005 | Produits et systèmes pour la protection et la réparation des structures en béton - Définitions, exigences, maîtrise de la qualité et évaluation de la conformité - Partie 3: Réparation structurale et réparation non structurale |
| SN EN 1504-4:2004 | Produits et systèmes pour la protection et la réparation des structures en béton - Définitions, prescriptions, maîtrise de la qualité et évaluation de la conformité - Partie 4: Collage structural                               |
| SN EN 1542        | Produits et systèmes pour la protection et la réparation des structures en béton - Méthodes d'essai - Mesurage de l'adhérence par traction directe                                                                                |
| SN EN 1770        | Produits et systèmes pour la protection et la réparation des structures en béton - Méthodes d'essais - Détermination du coefficient de dilatation thermique                                                                       |
| SN EN 12614       | Produits et systèmes pour la protection et la réparation des structures en béton - Méthodes d'essais - Détermination de la température de transition vitreuse des polymères                                                       |
| SN EN ISO 12944-2 | Peintures et vernis - Anticorrosion des structures en acier par systèmes de peinture - Partie 2: Classification des environnements                                                                                                |
| SN EN ISO 12944-4 | Peintures et vernis - Anticorrosion des structures en acier par systèmes de peinture - Partie 4: Types de surface et de préparation de surface                                                                                    |
| SN EN 13791       | Évaluation de la résistance à la compression sur site des structures et des éléments préfabriqués en béton                                                                                                                        |

### 0.2.3 Normes internationales

|             |                                                                                               |
|-------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------|
| ISO 10406-2 | Fibre-reinforced polymer (FRP) reinforcement of concrete – Test methods – Part 2: FRP sheets  |
| ISO 10406-3 | Fibre-reinforced polymer (FRP) reinforcement of concrete – Test methods – Part 3: CFRP strips |

## 0.3 Dérogations

- 0.3.1 Des dérogations à la présente norme sont admises pour autant qu'elles soient suffisamment fondées sur des données théoriques ou sur des essais, ou qu'elles soient justifiées par de nouveaux développements ou de nouvelles connaissances.
- 0.3.2 En présence de conditions qui ne sont pas couvertes par cette norme, la procédure doit être convenue entre l'auteur du projet et le maître d'ouvrage ainsi que les éventuelles instances d'approbation. La procédure choisie doit être documentée par étape dans la convention d'utilisation et dans la base du projet.

# 1 TERMINOLOGIE

Pour l'application de la présente norme on utilisera les termes définis ci-après. Ces termes sont répertoriés par ordre alphabétique en deux langues à l'annexe xx.

## 1.1 Termes et définitions

### 1.1.1 Longueur d'adhérence active

Longueur sur laquelle une armature collée transmet sa résistance d'ancrage maximale au support.

### 1.1.2 Enduit

Couche de protection adhérente appliquée sous forme liquide, en une ou plusieurs couches.

### 1.1.3 Comportement à la rupture

Comportement porteur après avoir atteint la charge ultime.

### 1.1.4 Fibre

Particule de renforcement allongée, par exemple en carbone, en verre, en aramide ou en basalte.

### 1.1.5 Matériau composite

Combinaison de matériaux composée de fibres intégrées dans une matrice plastique.

### 1.1.6 Non-tissé

Textile composé de faisceaux de fibres superposés dans une direction ou dans des directions différentes, avec fixation aux points de croisement. Les non-tissés présentent un fibrage étiré.

### 1.1.7 Tissé

Textile tissé à partir de faisceaux de fibres disposés dans différentes directions. Les tissés présentent un fibrage ondulé. Dans les tissés, les fibres peuvent être orientées dans une ou plusieurs directions.

### 1.1.8 Armature collée

Ensemble des éléments porteurs, généralement linéaires, présentant dans le sens longitudinal une grande rigidité à la traction et résistance à la traction, qui sont collés à la structure porteuse et la renforcent de manière ciblée.

### 1.1.9 Colle

Substance liquide ou plastique appliquée entre des pièces à assembler qui, après durcissement, permet la transmission de forces. Elle est constituée de deux composants, la résine et le durcisseur, peut être remplie de sable de quartz et est utilisée pour le collage de lamelles, de non-tissés et de tissés.

### 1.1.10 Lamelle

Armature plate en acier ou en matériau composite renforcé de fibres avec des fibres continues insérées de manière unidirectionnelle.

### 1.1.11 Jointure de lamelles

Chevauchement pour la transmission des forces de lamelle à lamelle.

### 1.1.12 Matrice

Plastique qui enrobe les fibres d'un matériau composite.

### 1.1.13 Primer

Couche primaire qui protège la surface et/ou permet une bonne adhérence à d'autres enduits ou à la colle.

- 1.1.14 **Interface**  
Surface de contact entre l'armature collée et la colle ou entre la colle et le support.
- 1.1.15 **Confinement**  
Méthode de renforcement des éléments comprimés au moyen d'une armature collée. Elle améliore la résistance aux forces de compression en permettant un état de contrainte triaxial.
- 1.1.16 **Unidirectionnel**  
Toutes les fibres sont insérées dans une direction.
- 1.1.17 **Support**  
La partie de la structure porteuse en béton, acier, maçonnerie ou bois à remettre en état ou à modifier.
- 1.1.18 **Rupture du support**  
Défaillance du support ou de l'armature intérieure contenue dans le support.
- 1.1.19 **Résistance de l'ancrage**  
Résistance ultime qu'une armature collée peut transmettre à un support. La résistance ultime la plus élevée possible est obtenue pour des longueurs d'ancrage supérieures ou égales à la longueur d'adhérence active.
- 1.1.20 **Zone d'ancrage**  
Zone d'introduction des forces à l'extrémité de l'élément de renfort, dans laquelle aucune contribution n'est apportée au renforcement de l'élément de construction.
- 1.1.21 **Longueur d'adhérence**  
Longueur sur laquelle une armature collée est liée au support à l'aide d'une colle.
- 1.1.22 **Rupture d'adhérence**  
Défaillance de l'adhérence entre le support et l'armature collée.
- 1.1.23 **Mode de ruine**  
Description du processus qui conduit à l'épuisement de la résistance ultime.
- 1.1.24 **Protection de surface**  
Couche de finition appliquée par liaison mécanique ou chimique sans effet de renforcement.
- 1.1.25 **Raidissement**  
Augmentation de la rigidité (en général de flexion) d'une section ou d'un élément de construction.
- 1.1.26 **Renforcement**  
Mesure visant à améliorer la résistance ultime et l'aptitude au service d'une structure porteuse ou d'un élément de construction.
- 1.1.27 **Système de renforcement**  
Système composé d'une armature collée, d'une colle ainsi que, le cas échéant, d'ancrages et de mesures de protection constructives.
- 1.1.28 **Rupture du renforcement**  
Défaillance de l'armature collée.
- 1.1.29 **Zone fonctionnelle**  
Zone de l'élément de construction entre deux zones d'ancrage, dans laquelle l'armature collée a un effet de renforcement.

## 1.2 Symboles, termes et unités

### 1.2.1 Lettres latines majuscules

|                |                                                                                                                                                                    |
|----------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $A_f$          | section de l'armature collée                                                                                                                                       |
| $A_s$          | aire de section de l'acier à béton                                                                                                                                 |
| $A_{sw}$       | aire de section des étriers internes                                                                                                                               |
| $C_d$          | limite de service associée                                                                                                                                         |
| $D$            | diamètre                                                                                                                                                           |
| $D_{ak}$       | valeur caractéristique de l'énergie de déformation de la colle                                                                                                     |
| $E_a$          | valeur moyenne du module d'élasticité de la colle en compression                                                                                                   |
| $E_{cd}$       | valeur de dimensionnement du module d'élasticité du béton                                                                                                          |
| $E_{cm}$       | valeur moyenne du module d'élasticité du béton                                                                                                                     |
| $E_d$          | valeur de dimensionnement d'un effet d'action                                                                                                                      |
| $E_f$          | valeur moyenne du module d'élasticité de l'armature collée                                                                                                         |
| $E_{fd}$       | valeur de dimensionnement du module d'élasticité de l'armature collée                                                                                              |
| $E_{fk}$       | valeur caractéristique du module d'élasticité                                                                                                                      |
| $E_s$          | valeur moyenne du module d'élasticité de l'armature intérieure en acier                                                                                            |
| $F_{b,R}$      | résistance d'ancrage de l'armature collée pour des longueurs d'adhérence inférieures à $l_{b0}$                                                                    |
| $F_{b,Rd}$     | valeur de dimensionnement de la résistance d'ancrage de l'armature collée pour des longueurs d'adhérence inférieures à $l_{b0}$                                    |
| $F_{b,Rd,fat}$ | valeur de dimensionnement de la résistance d'ancrage de l'armature collée pour des longueurs d'adhérence inférieures à $l_{b0}$ pour les sollicitations de fatigue |
| $F_{b0,R}$     | résistance d'ancrage de l'armature collée pour des longueurs d'adhérence supérieures à $l_{b0}$                                                                    |
| $F_{b0,Rd}$    | valeur de dimensionnement de la résistance d'ancrage de l'armature collée pour des longueurs d'adhérence supérieures à $l_{b0}$                                    |
| $F_f$          | effort de traction de l'armature collée                                                                                                                            |
| $F_{fw}$       | effort de traction dans l'armature collée agissant comme étrier                                                                                                    |
| $F_{fwd}$      | valeur de dimensionnement de l'effort de traction agissant dans l'armature collée                                                                                  |
| $F_{f,d}$      | Valeur de dimensionnement de l'effort de traction de l'armature collée                                                                                             |
| $F_{f,Rd}$     | Valeur de dimensionnement de la résistance de l'effort de traction de l'armature collée                                                                            |
| $F_{fcr}$      | effort de traction de l'armature collée à l'endroit de la dernière fissure                                                                                         |
| $F_{fcr,d}$    | valeur de dimensionnement de l'effort de traction agissant sur l'ancrage (force d'ancrage)                                                                         |
| $F_{fy}$       | effort de traction de l'armature collée à l'endroit du début de l'écoulement de l'armature en acier intérieure                                                     |
| $F_s$          | effort de traction de l'armature en acier intérieure                                                                                                               |
| $F_{sd}$       | valeur de dimensionnement de l'effort de traction de l'armature en acier intérieure                                                                                |
| $F_{td}$       | valeur de dimensionnement de l'augmentation de l'effort de traction due à l'effort tranchant                                                                       |
| $G_a$          | valeur moyenne du module de cisaillement de la colle, $G_a = E_a/2(1+n)$ , où $n$ peut être fixé à 0,3                                                             |
| $G_{Fad}$      | valeur de dimensionnement de l'énergie de rupture spécifique de l'ancrage d'extrémité d'une armature collée sur acier                                              |
| $G_{Fcd}$      | valeur de dimensionnement de l'énergie de rupture spécifique de l'ancrage d'extrémité d'une armature collée sur béton                                              |
| $G_{Fsd}$      | valeur de dimensionnement de l'énergie de rupture spécifique de l'ancrage d'extrémité d'une armature collée dans des rainures dans le béton                        |
| $L_p$          | périmètre déterminant                                                                                                                                              |
| $M_d$          | valeur de dimensionnement du moment fléchissant? chiffrer 4.3.4.8                                                                                                  |
| $T_g$          | valeur moyenne de la température de transition vitreuse                                                                                                            |
| $T_{ser}$      | température de service maximale                                                                                                                                    |
| $R_d$          | valeur de dimensionnement de la résistance ultime                                                                                                                  |

|              |                                                                                          |
|--------------|------------------------------------------------------------------------------------------|
| $R\{\dots\}$ | résistance ultime en fonction des valeurs de dimensionnement indiquées entre parenthèses |
| $S_d$        | valeur de dimensionnement de l'effort interne                                            |
| $V_d$        | valeur de dimensionnement de l'effort tranchant                                          |
| $V_{Rd}$     | valeur de dimensionnement de la résistance à l'effort tranchant                          |
| $V_{Rd,f}$   | valeur de dimensionnement de la résistance à l'effort tranchant des étriers collés       |
| $V_{Rd,s}$   | valeur de dimensionnement de la résistance à l'effort tranchant des étriers internes     |
| $X_d$        | valeur de dimensionnement d'une propriété du matériau de construction                    |
| $X_k$        | valeur caractéristique d'une propriété du matériau de construction                       |

### 1.2.2 Lettres latines minuscules

|                 |                                                                                                                                                     |
|-----------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $a_d$           | valeur de dimensionnement d'une grandeur géométrique                                                                                                |
| $a_{fr}$        | distance au nu                                                                                                                                      |
| $b_{eff}$       | largeur participante                                                                                                                                |
| $b_f$           | largeur de l'armature collée                                                                                                                        |
| $c$             | facteur                                                                                                                                             |
| $d$             | hauteur statique                                                                                                                                    |
| $f_{ak}$        | valeur caractéristique de la résistance à la compression sur cylindre                                                                               |
| $f_{am}$        | valeur moyenne de la résistance à la traction de la colle                                                                                           |
| $f_{ccd}$       | valeur de dimensionnement de la résistance à la compression du béton augmentée par confinement                                                      |
| $f_{cd}$        | valeur de dimensionnement de la résistance à la compression du béton                                                                                |
| $f_{ck}$        | valeur moyenne de la résistance à la traction                                                                                                       |
| $f_{ctH,d}$     | valeur de dimensionnement de la résistance à l'adhérence du béton proche de la surface                                                              |
| $f_{ctH,k}$     | valeur caractéristique de la résistance à l'adhérence du béton proche de la surface                                                                 |
| $f_{ctH,m}$     | valeur moyenne de la résistance à l'adhérence du béton proche de la surface                                                                         |
| $f_{ctk\ 0,05}$ | valeur fractile de 5%-de la résistance à la traction du béton                                                                                       |
| $f_{ctm}$       | valeur moyenne de la résistance à la traction du béton                                                                                              |
| $f_{t,d}$       | valeur de dimensionnement de la résistance à la traction de l'armature collée                                                                       |
| $f_{t,k}$       | valeur caractéristique de la résistance à la traction de l'armature collée                                                                          |
| $f_{t,m}$       | valeur moyenne de la résistance à la traction de l'armature collée                                                                                  |
| $f_{ty,d}$      | valeur de dimensionnement de la limite d'écoulement de l'armature collée                                                                            |
| $f_{s,d}$       | Valeur de dimensionnement de la limite d'écoulement des étriers intérieurs                                                                          |
| $f_{sk}$        | valeur caractéristique de la limite d'élasticité de l'acier d'armature                                                                              |
| $k_n$           | facteur fractile                                                                                                                                    |
| $l_b$           | longueur d'adhérence de l'armature collée                                                                                                           |
| $l_{bd}$        | valeur de dimensionnement de la longueur d'adhérence de l'armature collée                                                                           |
| $l_{b0d}$       | valeur de dimensionnement de la longueur d'adhérence active d'une armature collée (longueur minimale nécessaire à la transmission de $F_{b0, Rd}$ ) |
| $l_{cr}$        | distance entre l'endroit de la dernière fissure et l'axe de l'appui                                                                                 |
| $l_y$           | distance entre le point de départ de l'écoulement de l'armature interne en acier et l'axe de l'appui                                                |
| $q$             | coefficient de comportement                                                                                                                         |
| $n$             | nombre                                                                                                                                              |
| $r_c$           | rayon d'angle                                                                                                                                       |
| $s$             | écart-type de la résistance à l'adhérence du béton proche de la surface                                                                             |
| $s_{f,el}$      | valeurs de dimensionnement du glissement de l'armature collée à l'endroit de la contrainte maximale de cisaillement d'adhérence                     |
| $s_f$           | espacement des étriers collés                                                                                                                       |
| $s_{f,max}$     | valeurs de dimensionnement du glissement maximal de l'armature collée                                                                               |
| $s_s$           | distance entre les étriers intérieurs                                                                                                               |

|       |                                                                                        |
|-------|----------------------------------------------------------------------------------------|
| $t_a$ | épaisseur nominale de la colle                                                         |
| $t_f$ | épaisseur de l'armature collée                                                         |
| $t_s$ | largeur de la rainure                                                                  |
| $w_f$ | largeur de la lamelle pour rainures                                                    |
| $w_s$ | profondeur de la rainure                                                               |
| $x$   | hauteur de la zone comprimée fléchie                                                   |
| $z_f$ | bras de levier de la résultante de traction et de compression de l'armature intérieure |
| $z_s$ | bras de levier de la résultante de traction et de compression de l'armature collée     |

### 1.2.3 Lettres grecques majuscules

|          |                                            |
|----------|--------------------------------------------|
| $\phi_f$ | diamètre de la barre en matériau composite |
| $\phi_s$ | diamètre de la barre d'armature            |

### 1.2.4 Lettres grecques minuscules

|                        |                                                                                                                              |
|------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $\alpha_a$             | valeur moyenne du coefficient de dilatation de la colle                                                                      |
| $\alpha_d$             | valeur moyenne                                                                                                               |
| $\alpha_f$             | valeur moyenne du coefficient de dilatation de l'armature collée                                                             |
| $\alpha_{fr}$          | valeur moyenne du coefficient de dilatation de l'armature collée Eq. (18)                                                    |
| $\gamma_M$             | coefficients de résistance pour la détermination des valeurs de dimensionnement des propriétés des matériaux de construction |
| $\varepsilon_f$        | allongement de l'armature collée                                                                                             |
| $\varepsilon_{fcr}$    | allongement de l'armature collée à l'endroit de la dernière fissure                                                          |
| $\varepsilon_{fd}$     | valeur de dimensionnement de l'allongement dans l'armature collée                                                            |
| $\varepsilon_{fd,lim}$ | valeur de dimensionnement d'un allongement limite                                                                            |
| $\varepsilon_{fud}$    | valeur de dimensionnement de l'allongement de rupture de l'armature collée                                                   |
| $\varepsilon_{fuk}$    | valeur caractéristique de l'allongement de rupture de l'armature collée (valeur fractile de 5%)                              |
| $\varepsilon_{fsd}$    | valeur de dimensionnement de l'allongement d'écoulement de l'armature collée en acier                                        |
| $\varepsilon_{sd}$     | valeur de dimensionnement de l'allongement spécifique de l'armature                                                          |
| $\eta$                 | facteur de réduction pour l'armature collée                                                                                  |
| $\eta_e$               | facteur de réduction pour différentes classes d'exposition                                                                   |
| $\eta_l$               | facteur de réduction pour charge permanente ou cyclique                                                                      |
| $\eta_{qu}$            | facteur de réduction de l'effort tranchant                                                                                   |
| $\eta_u$               | facteur de réduction pour les désordres d'adhérence                                                                          |
| $\eta_{um}$            | facteur de réduction du confinement                                                                                          |
| $\nu$                  | coefficient de poisson                                                                                                       |
| $\rho$                 | taux d'armature                                                                                                              |
| $\sigma_{a,II}$        | contraintes de traction principales dans la colle                                                                            |
| $\sigma_c$             | contrainte dans le béton                                                                                                     |
| $\sigma_{cd}$          | valeur de dimensionnement de la contrainte en bordure du béton                                                               |
| $\sigma_s$             | contrainte de l'armature                                                                                                     |
| $\sigma_{1d}$          | valeur de dimensionnement de la contrainte de confinement                                                                    |
| $\tau_a$               | valeur moyenne de la contrainte de cisaillement de la colle                                                                  |
| $\tau_{a,max,d}$       | valeur de dimensionnement de la contrainte de cisaillement maximale pouvant être absorbée par la colle                       |
| $\tau_{c,max,d}$       | valeur de dimensionnement de la contrainte maximale de cisaillement d'adhérence sur béton                                    |
| $\tau_{c,max,k}$       | valeur caractéristique de la contrainte maximale de cisaillement d'adhérence sur béton                                       |
| $\tau_{c,mean,d}$      | valeur de dimensionnement de la contrainte de cisaillement d'adhérence                                                       |
| $\tau_{s,max,d}$       | valeur de dimensionnement de la contrainte de cisaillement d'adhérence maximale dans des rainures                            |
| $\tau_f$               | contrainte de cisaillement d'adhérence                                                                                       |
| $\tau_{f,gl}$          | contrainte globale de cisaillement d'adhérence                                                                               |

## 1.3 Modes de construction

Pour les modes de constructions de base et leur combinaison (constructions mixtes), couvertes par la présente norme, différents termes sont utilisés pour les classes de matériaux de construction, qui peuvent être trouvés dans les normes SIA correspondantes.

## 2 PRINCIPES

### 2.1 Généralités

- 2.1.1 Les bases comprennent la convention d'utilisation initiale et actualisée et la base du projet ainsi que les résultats de l'examen de la structure porteuse existante.
- 2.1.2 L'examen sur la base de l'actualisation des actions et des propriétés des matériaux de construction s'effectue selon SIA 269. L'actualisation doit tenir compte de toutes les informations disponibles. Les influences des mécanismes de dégradation notamment doivent être prises en compte. En règle générale, les preuves sont effectuées selon la méthode déterministe, les preuves probabilistes sont également possibles.
- 2.1.3 L'examen s'effectue selon SIA 269/2 pour les structures porteuses en béton, selon SIA 269/3 pour les structures porteuses en acier, selon SIA 269/5 pour les structures porteuses en bois et selon SIA 269/6-2 pour les structures porteuses en maçonnerie.
- 2.1.4 L'examen de la structure porteuse existante fournit des informations sur
- l'ensemble de la construction et
  - l'élément de construction ou la structure porteuse à renforcer par une armature collée.
- 2.1.5 Pour l'ensemble de l'ouvrage, les résultats de l'examen suivant sont requis au minimum:
- relevé de l'état avec évaluation de l'état (y compris évaluation du dossier de l'ouvrage),
  - évaluation de la sécurité (sécurité structurale et sécurité de service),
  - évaluation de l'aptitude au service,
  - prévision de l'évolution de l'état,
  - éventuelles mesures d'urgence ordonnées,
  - recommandations pour la suites à donner,
  - indications concernant les besoins des utilisateurs, la valeur de conservation et les obligations légales.
- 2.1.6 Pour l'élément de construction ou la structure porteuse à renforcer par une armature collée, les résultats de la vérification suivants sont requis au minimum:
- nature et étendue des éventuels défauts et dommages existants,
  - principales dimensions et détails de construction,
  - valeurs actualisées de résistance des matériaux de construction,
  - état de déformation de l'élément de construction ou de la structure porteuse existants,
  - système porteur, résistance ultime et réserves du système,
  - défaillance prévisible d'un élément de construction ou de la structure porteuse,
  - évaluation de la sécurité structurale et de l'aptitude au service,
  - caractéristiques du support prévu pour le collage,
  - conditions physiques et climatiques de la construction,
  - exigences en matière de résistance au feu,
  - exposition de l'élément de construction à renforcer.

### 2.2 Matériaux de construction

Le choix des matériaux de construction de la mesure de renforcement doit être adapté aux exigences du projet ainsi qu'à la faisabilité technique et à la compatibilité avec le support à renforcer. Les propriétés requises doivent être consignées dans la base du projet.

### 2.3 Analyse structurale et dimensionnement

#### 2.3.1 Généralités

L'analyse structurale doit saisir le comportement de la structure porteuse à renforcer par rapport aux situations de dimensionnement à considérer, en tenant compte des grandeurs d'influence déterminantes.

Avant le dimensionnement de l'armature collée, il convient de concevoir le concept global du renforcement à partir des exigences d'utilisation actualisées.

La conception de l'armature collée

- fixe la disposition choisie des éléments de construction porteurs ainsi que leur mode d'interaction,
- décrit les principales dimensions, les propriétés des matériaux de construction et les détails de construction,
- tient compte des mesures constructives de protection et de prévention des incendies en fonction des situations de risque,
- s'exprime sur la méthode de construction prévue.
- En tant que condition limite de conception, il faut tenir compte du fait que la résistance ultime des parties de la structure et des sections qui restent dans leur état d'origine peut ne plus satisfaire aux exigences d'utilisation actualisées.

### 2.3.2 États-limites ultimes

La sécurité structurale est considérée comme prouvée lorsque le critère de dimensionnement suivant est rempli:

$$E_d \leq R_d \quad (1)$$

- 2.3.2.1 La valeur de dimensionnement de la résistance ultime  $R_d$  doit être déterminée comme suit, en tenant compte des connaissances disponibles sur la structure porteuse existante, conformément aux règles de la norme de structures porteuses correspondante:

$$R_d = R \left\{ \frac{\eta_{Xk}}{\gamma_M}, a_d \right\} \quad \text{respectivement} \quad R_d = R \{ \varepsilon_{fd,lim}, a_d \} \quad (2, 3)$$

- 2.3.2.2 Des essais préliminaires doivent être effectués pour déterminer l'aptitude d'une armature collée.
- 2.3.2.3 La résistance ultime est la propriété d'une partie plus large de la structure porteuse et ne peut généralement pas être vérifiée sur la base de la seule considération de quelques sections individuelles.
- 2.3.2.4 La détermination de l'état de contrainte et de déformation régnant dans une section s'effectue conformément aux dispositions des normes des structures porteuses pour le support correspondant.
- 2.3.2.5 L'état de contraintes et de déformations au moment de l'exécution de l'armature collée doit être pris en compte. En cas d'entraves présumées et non calculables, on aura recours à des hypothèses d'états extrêmes.
- 2.3.2.6 Les armatures collées sont généralement utilisées comme des tirants agissant dans leur direction.
- 2.3.2.7 Aux endroits où le flux interne des forces est fortement perturbé (par exemple aux lieux de l'introduction des forces ou aux ancrages d'extrémité), il convient d'utiliser des modèles appropriés ou de recourir à des études expérimentales.
- 2.3.2.8 Pour la situation de risque "défaillance de l'armature collée", il faut utiliser la résistance ultime de la section non renforcée (voir aussi 4.1.1).

### 2.3.3 États-limites de l'aptitude au service

- 2.3.3.1 Les états-limites, tels que les déformations maximales ou les exigences en matière de contrôle des fissures, doivent être définis dans la base du projet ou dans la convention d'utilisation.
- 2.3.3.2 L'état de contrainte et de déformation sous les actions de service doit être déterminé à l'aide des valeurs moyennes des modules de déformation.

## 2.4 Durabilité

### 2.4.1 Généralités

- 2.4.1.1 Les expositions aux influences environnementales et aux situations de charge des armatures collées doivent être identifiées lors de la phase de projet afin d'évaluer leur influence sur la durabilité. Les mesures visant à garantir la durabilité doivent être consignées dans la base du projet et dans le plan d'entretien.
- 2.4.1.2 La durabilité et le comportement à long terme des armatures collées sont déterminés par
- le type d'armature collée et la colle,
  - la qualité de l'application,
  - l'état et le type de support,
  - la préparation de la surface,
  - les actions et l'exposition aux influences environnementales.

- 2.4.1.3 Pour tenir compte de la durabilité, il convient d'adopter des approches conservatrices pour le choix de l'exposition en ce qui concerne les influences environnementales. La valeur de dimensionnement pour les propriétés des matériaux de construction dépend non seulement du type de rupture du renfort selon le Tableau 5, mais également des conditions d'exposition, comme décrites aux chiffres 2.4.1.4 à 2.4.1.6.
- 2.4.1.4 Le facteur de réduction  $\eta_e$  selon le Tableau 1, pour tenir compte de l'endommagement de l'armature collée, dépend du type de renforcement utilisé et de l'exposition aux influences environnementales. Si un type de fibre ne figurant pas dans le tableau est utilisé, le producteur doit indiquer le facteur de réduction. Le facteur de réduction  $\eta_e$  peut être modifié, si des essais sur les produits de protection ont démontré la réduction des effets de l'exposition environnementale.
- 2.4.1.5 La dégradation du support due à l'exposition aux influences environnementales est prise en compte à l'aide du facteur de réduction  $\eta_u$  selon le Tableau 2.
- 2.4.1.6 Si des lamelles en acier sont utilisées,  $\eta_e = 1$  est valable pour la détermination des valeurs de dimensionnement selon 4.2 et 4.3, mais des mesures de protection correspondant aux catégories de corrosivité selon SN EN ISO 12944-2 sont impérativement nécessaires, voir également 2.4.5.1.
- 2.4.1.7 La durabilité des éléments de construction en béton n'est pas affectée par des lamelles en polymère renforcé de fibres de carbone collées dans des rainures, même si les rainures empiètent sur le recouvrement en béton.

Tableau 1 Facteurs de réduction  $\eta_e$  pour l'endommagement de l'armature collée en fonction de l'exposition aux influences environnementales

| Type de renforcement                   | Exposition à l'intérieur ou protégée de la pluie<br>$\eta_e$ | Exposition aux intempéries<br>$\eta_e$        | Conditions d'exposition agressives (par ex. chimiques / stations d'épuration)<br>$\eta_e$ |
|----------------------------------------|--------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------|
| Polymère renforcé de fibres de carbone | 1,00                                                         | 0,90                                          | 0,90                                                                                      |
| Polymère renforcé de fibres de verre   | 0,75                                                         | 0,65                                          | 0,50                                                                                      |
| Polymère renforcé de fibres d'aramide  | 0,85                                                         | 0,75                                          | 0,70                                                                                      |
| Lamelle en acier                       | 1,00                                                         | 1,00<br>(avec protection contre la corrosion) | 1,00<br>(avec protection contre la corrosion)                                             |

Tableau 2 Facteur de réduction  $\eta_u$  pour la dégradation de l'adhérence en fonction de l'exposition aux influences environnementales pour les supports en béton

| Type de renforcement                                            | Exposition à l'intérieur ou protégée de la pluie<br>$\eta_u$ | Exposition aux intempéries<br>$\eta_u$ | Conditions d'exposition agressives (par ex. chimiques / stations d'épuration)<br>$\eta_u$ |
|-----------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|----------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------|
| Lamelles collées sur la surface du béton                        | 1,0                                                          | 0,8                                    | 0,7                                                                                       |
| Tissés ou non-tissés collés à la surface du béton               | 1,0                                                          | 0,5                                    | 0,4                                                                                       |
| Lamelles pour rainures en surface de béton                      | 1,0                                                          | 0,9                                    | 0,8                                                                                       |
| Lamelles, tissés ou non-tissés collés sur la surface de l'acier | 1,0                                                          | 0,8                                    | non autorisé                                                                              |

## 2.4.2 Température

- 2.4.2.1 Les propriétés mécaniques des plastiques (colle et matrice des lamelles) sont influencées par la température. En cas de température élevée, lorsque la température de transition vitreuse  $T_g$  est dépassée, les plastiques perdent leur résistance et leur rigidité. Si la température est supérieure à  $T_g$ , aucune force ne doit plus être attribuée à l'armature.

- 2.4.2.2 Les propriétés thermomécaniques de la colle sont importantes. Normalement, les colles pour armatures collées durcissent à froid et présentent donc des températures de transition vitreuse  $T_g$  relativement basses (ordre de grandeur d'environ 40°C à 60°C). En revanche, les produits durcis à chaud (par ex. pour les lamelles préfabriquées) ou les colles qui sont chauffées pendant le durcissement ont des températures de transition vitreuse nettement plus élevées et sont donc moins influencées par des températures ambiantes élevées.
- 2.4.2.3 La température de service de la surface de l'armature collée  $T_{ser}$  peut atteindre au maximum  $T_g - 10^\circ\text{C}$ ,  $T_g$  étant la température de transition vitreuse de la colle. Si l'armature collée est précontrainte ou si la contrainte de cisaillement dans la colle est plus élevée en raison d'une charge permanente ou d'une sollicitation à la fatigue, la température de surface  $T_{ser}$  ne peut atteindre que  $T_g - 20^\circ\text{C}$ . Si cette restriction ne peut pas être respectée, il faut utiliser une colle spéciale. Pour réduire la température, il est également possible d'utiliser un matériau isolant approprié.
- 2.4.2.4 La température de durcissement et le temps influencent la température de transition vitreuse  $T_g$ . Le post-durcissement après la pose, c'est-à-dire l'application d'une température accrue, peut donc améliorer la valeur de  $T_g$ . En revanche, des températures basses lors du durcissement retardent le processus de durcissement et réduisent  $T_g$  ainsi que la résistance et la rigidité de la colle.
- 2.4.2.5 Les coefficients de dilatation thermique des matériaux composites renforcés de fibres unidirectionnels diffèrent dans le sens longitudinal et transversal, en fonction des types de fibres, du type de matrice et de la fraction volumique des fibres.
- 2.4.2.6 Puisque les matériaux composites ont un coefficient de dilatation thermique différent de celui du support, des contraintes supplémentaires peuvent apparaître. Celles-ci doivent être prises en compte si l'on s'attend à une défaillance de l'ancrage d'extrémité.
- 2.4.2.7 La situation de risque "défaillance de l'armature collée" selon 4.1.1 en cas d'incendie doit être prise en compte, si l'armature collée n'est pas protégée par des mesures de protection contre l'incendie selon 5.4.3. D'autres indications pour le cas d'incendie figurent au chapitre 5.4.
- 2.4.3 Humidité (eau et solution saline)**
- 2.4.3.1 Comme les matériaux composites peuvent absorber de l'eau, l'humidité (eau ou solutions salines) affecte la durabilité des armatures collées. Les principaux effets de l'absorption d'humidité sont la réduction du module d'élasticité et de la température de transition vitreuse. Il en résulte une diminution des résistances et de la rigidité. La pénétration de l'humidité et le contact direct du renfort avec l'eau doivent donc être évités par des mesures de protection.
- 2.4.3.2 L'absorption d'humidité dépend du type de plastique, de la composition et de la qualité du système de renforcement, de l'épaisseur de la lamelle, des conditions de durcissement et des conditions de mise en place. Selon la matrice et la colle utilisées, le temps et les températures de service, les effets causés par l'humidité peuvent être partiellement ou totalement réversibles.
- 2.4.3.3 L'état de la structure porteuse existante avant le renforcement est déterminant pour la qualité de l'adhérence. Les défauts existants associés à l'infiltration d'eau et d'agents chimiques, qui peuvent endommager davantage le support, doivent être corrigés au préalable.
- 2.4.3.4 Les armatures collées scellent le support et forment une barrière contre l'humidité. Cet effet doit être pris en compte.
- 2.4.3.5 Un support humide pendant le durcissement de la colle peut entraîner une réduction de la température de transition vitreuse  $T_g$ , de la résistance et de la rigidité ainsi que des temps de durcissement plus longs. C'est pourquoi il faut respecter la teneur maximale d'humidité du support selon 6.3.1.6 et l'écart du point de rosée selon 6.4.3.2.
- 2.4.4 Cycles de gel - dégel**
- 2.4.4.1 Les cycles de gel-dégel peuvent réduire les performances de la matrice, de la colle et des surfaces de contact entre l'armature collée et la colle, ainsi qu'entre la colle et la surface du béton, ce qui peut entraîner des décollements.
- 2.4.4.2 Les effets des cycles de gel-dégel peuvent être renforcés par l'humidité, qui affaiblit la colle, par les sollicitations de fatigue et par une contrainte constante élevée dans la colle.

#### 2.4.5 **Résistance chimique**

- 2.4.5.1 Les armatures collées en acier doivent être protégées contre la corrosion conformément à la norme SN EN ISO 12944-2, en fonction du domaine d'application et de la durée d'utilisation. Du côté de la surface de collage, le primer et la colle assument la fonction des mesures de protection.
- 2.4.5.2 La durabilité des armatures collées en matériaux composites en milieu alcalin et acide dépend de la nature de la matrice et des fibres. En général, les fibres de carbone résistent aux environnements alcalins et acides, tandis que les fibres de verre peuvent se dégrader dans ce type d'environnement. Les éléments de construction situés dans des environnements à forte alcalinité, à forte humidité ou à forte humidité relative de l'air devraient être renforcés par des fibres de carbone.

#### 2.4.6 **Corrosion galvanique**

- 2.4.6.1 Pour éviter la corrosion galvanique, les matériaux composites renforcés de fibres de carbone ne doivent pas être en contact direct avec l'acier. Du côté de la surface de collage de l'acier, le primer et la colle empêchent la corrosion galvanique.
- 2.4.6.2 Les matériaux composites avec des fibres de verre peuvent être utilisés comme couche de séparation pour empêcher la corrosion galvanique.

#### 2.4.7 **Protection UV**

Les plastiques qui se décomposent sous l'action des rayons UV doivent être protégés. Les mesures de protection possibles sont énumérées au chiffre 5.3.

### 2.5 **Sollicitation de longue durée**

#### 2.5.1 **Fatigue**

- 2.5.1.1 Le comportement des armatures collées en matériaux composites soumises aux sollicitations de fatigue est principalement influencé par la résistance à la fatigue des fibres utilisées.
- 2.5.1.2 Les armatures collées en acier doivent être dimensionnées à la fatigue selon SIA 263.
- 2.5.1.3 En raison des sollicitations de fatigue, des défauts peuvent apparaître sur l'interface, ce qui peut conduire à une capacité d'adhérence plus faible par rapport à la résistance statique à court terme.
- 2.5.1.4 En cas de sollicitation à la fatigue, les facteurs de réduction selon le

- 2.5.1.6 Tableau 3 doivent être utilisés. Pour le renforcement des structures en béton, il faut en outre tenir compte du chiffre 4.3.8 et pour le renforcement des structures en acier du chiffre 4.4.5.
- 2.5.2 **Fluage**
- 2.5.2.1 Des déformations par fluage et une corrosion fissurante sous contrainte peuvent apparaître dans les armatures collées, d'où la nécessité de limiter les contraintes dans les conditions de charge de service. En général, les prescriptions d'aptitude au service selon 4.7 sont suffisantes à cet effet.
- 2.5.2.2 En cas de température élevée et de charges permanentes importantes (par ex. armature collée précontrainte), le fluage dans la colle doit être limité par l'utilisation d'une colle appropriée.
- 2.5.2.3 Les armatures collées en polymère renforcé de fibres de carbone sont très résistantes à la corrosion fissurante sous contrainte, aux charges permanentes élevées et à la rupture par fatigue sous charge cyclique. Les armatures collées en polymère renforcé de fibres de verre et d'aramide ne devraient pas être utilisées pour ces situations de charge. Il convient donc d'utiliser exclusivement des armatures collées renforcées de fibres de carbone comme renforcements précontraints.

Tableau 3 Facteurs de réduction  $\eta_l$ 

| Charge                                             | $\eta_l$                             |                                      |                                      |
|----------------------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|
|                                                    | Type de renforcement                 |                                      |                                      |
|                                                    | Polymère renforcé de fibres de verre | Polymère renforcé de fibres de verre | Polymère renforcé de fibres de verre |
| Charge variable (cas de charge rares et fréquents) | 0,5                                  | 0,7                                  | 1,0                                  |
| Charge permanente (cas de charge quasi permanents) | 0,3                                  | 0,5                                  | 0,8                                  |
| Charge permanente plus charge de fatigue           | -                                    | -                                    | 0,8                                  |

### 2.5.3 Combinaisons de sollicitation de longue durée avec des conditions environnementales

- 2.5.3.1 Les effets de couplage des conditions environnementales et des situations de charge doivent être évalués avec prudence. Les facteurs de réduction  $\eta_e$ ,  $\eta_u$  et  $\eta_l$  permettent de prendre en compte les conditions environnementales ainsi que le comportement à long terme pour tenir compte des charges de fatigue et du fluage.
- 2.5.3.2 Si la situation est critique en termes de charge et de durabilité, par exemple en raison du ramollissement de la colle à une température élevée ou si l'adhérence est menacée par la fatigue ou les cycles de gel-dégel, la longueur d'ancrage doit être augmentée de manière appropriée, pour les structures en béton voir 4.3.8.5.

## 3 MATERIAUX DE CONSTRUCTION

### 3.1 Support

Les valeurs caractéristiques  $X_k$  des propriétés des matériaux de construction du support doivent être déterminées selon SIA 269/2 pour les structures porteuses en béton, selon SIA 269/3 pour les structures porteuses en acier, selon SIA 269/5 pour les structures porteuses en bois et selon SIA 269/6-2 pour les structures porteuses en maçonnerie.

### 3.2 Système de renforcement

#### 3.2.1 Exigences

- 3.2.1.1 Les matériaux de construction à utiliser doivent satisfaire aux exigences selon 3.3 à 3.8, en tant que produit en soi et en tant que partie du système global.
- 3.2.1.2 Les différents matériaux de construction doivent être adaptés au support ainsi qu'entre eux et doivent être compatibles entre eux. Les paramètres les plus importants à évaluer dans le cadre des sollicitations de courte et longue durée, ainsi que, le cas échéant, dans le cas d'éléments de construction soumis à des vibrations, sont les suivants :
- les propriétés mécaniques, chimiques et électrochimiques,
  - la dilatation thermique,
  - le comportement en cas d'augmentation de la température et/ou de l'humidité.

#### 3.2.2 Essais

- 3.2.2.1 On distingue les types d'essais suivants:
- Les essais initiaux servent à caractériser les propriétés d'un matériau de construction ou de l'ensemble du système de renforcement, ainsi qu'à apporter la preuve de l'aptitude fondamentale pour les applications prévues (par exemple par des essais en laboratoire).
  - Les essais d'aptitude servent à prouver l'aptitude d'un matériau de construction ou de l'ensemble du système de renforcement dans des conditions d'utilisation spécifiques et dans le cadre du déroulement des travaux prévu (par exemple sur l'ouvrage).
  - Les contrôles de qualité servent à apporter la preuve de la qualité requise pendant et après l'exécution.
- 3.2.2.2 En principe, seuls les matériaux de construction pour lesquels il existe des attestations d'essais initiaux ou des résultats d'essais d'aptitude doivent être utilisés.
- 3.2.2.3 Pour vérifier l'aptitude d'un matériau de construction à une application spécifique, il peut être nécessaire de procéder à des essais d'aptitude sur des éléments de construction proches de la réalité.
- 3.2.2.4 Les contrôles de qualité à effectuer doivent être définis au préalable dans le plan de contrôle. L'étendue des contrôles dépend de l'importance de la mesure de renforcement ainsi que du système de renforcement choisi.
- 3.2.2.5 Des éprouvettes séparées doivent être confectionnées pour les essais d'aptitude et les contrôles de qualité, le cas échéant, afin que les essais puissent être réalisés avec les mêmes méthodes que pour l'essai initial.

### 3.3 Colles

#### 3.3.1 Types et désignations

Les colles utilisées sont des colles à base de résine époxyde avec ou sans filler de quartz. Elles sont fabriquées sur place en mélangeant les deux composants résine et durcisseur et durcissent à température ambiante.

#### 3.3.2 Exigences, essais et contrôles

- 3.3.2.1 Pour l'armature collée destinée aux structures porteuses en béton, les exigences relatives aux colles sont celles de la norme SN EN 1504-4. Les normes d'essai à utiliser sont également tirées de la norme SN EN 1504-4.

- 3.3.2.2 Pour l'armature collée des structures porteuses en acier, les exigences sont les mêmes que pour les structures porteuses en béton selon 3.3.2.1. L'énergie de déformation spécifique de la colle  $D_{ak}$  se calcule à partir de la valeur moyenne de l'aire située sous la courbe contrainte-déformation lors de l'essai de traction selon SN EN ISO 527-1.
- 3.3.2.3 Pour l'armature collée des structures porteuses en bois s'appliquent les exigences générales relatives aux colles selon SIA 265.
- 3.3.2.4 En outre, les exigences suivantes s'appliquent à toutes les colles :
- pour maintenir les concentrations de contraintes à un niveau faible :  $E_a \leq 15$  GPa (testé selon SN EN ISO 178),
  - la température de transition vitreuse  $T_g$  correspond à la température initiale extrapolée  $T_f$  selon SN EN 12614.
- 3.3.2.5 Doivent être déclarés :
- désignation du produit,
  - température minimale et maximale de mise en œuvre (support et environnement),
  - rapport de mélange, y compris la précision requise (en parties pondérales),
  - durée de vie en pot, temps d'ouverture (pour la température de travail maximale autorisée),
  - conditions préalables à la surface des pièces à coller,
  - température maximale de service  $T_{ser}$  et valeur moyenne de la température de transition vitreuse  $T_g$ ,
  - mode de stockage, durée maximale de stockage,
  - prescriptions de sécurité,
  - densité,
  - valeur moyenne du coefficient de dilatation  $\alpha_a$ ,
  - valeur moyenne du module d'élasticité en compression  $E_a$ ,
  - valeur caractéristique de la résistance à la traction  $f_{ak}$ ,
  - valeur caractéristique de l'énergie de déformation  $D_{ak}$ .

## 3.4 Lamelles en acier

### 3.4.1 Types et désignations

- 3.4.1.1 La valeur de dimensionnement de la limite d'élasticité  $f_{yd}$  doit être utilisée conformément à la norme SIA 263.
- 3.4.1.2 La classification, la désignation ainsi que les essais et contrôles sont définis dans les normes SIA 263 et SIA 263/1.
- 3.4.1.3 Pour les armatures collées, il convient d'utiliser des aciers de construction courants.

### 3.4.2 Exigences

- 3.4.2.1 Les exigences sont définies dans les normes SIA 263 et SIA 263/1
- 3.4.2.2 Les travaux de soudage sur des pièces en acier collées ne sont pas autorisés.
- 3.4.2.3 La surface des lamelles d'acier à coller doit être nettoyée, avec un degré de préparation de surface Sa 2 1/2 selon SN EN ISO 12944-4. Immédiatement après, la surface doit être protégée avec un primer adapté à la colle et à la surface en acier en termes d'adhérence et de comportement thermique. La résistance à l'adhérence du primer utilisé sur la surface des lamelles d'acier et de la colle sur le primer doit être suffisamment élevée pour garantir que la défaillance se produise dans le support (dans le cas du béton, du bois ou de la maçonnerie) respectivement dans la colle en cas de renforcements de structures porteuses en acier.

## 3.5 Lamelles en matériau composite

### 3.5.1 Types et désignations

- 3.5.1.1 Les lamelles ou barres en matériaux composites présentent des fibres continues insérées de manière unidirectionnelle dans une matrice synthétique. Elles sont préfabriquées en usine et collées sur le chantier avec des colles selon 3.3 sur l'élément de construction à renforcer, de manière droite ou courbée, ou collées dans des rainures insérées.

3.5.1.2 Les lamelles présentent un comportement linéaire-élastique jusqu'à la rupture en traction.

### 3.5.2 Exigences, essais et contrôles

3.5.2.1 La résistance à la traction, le module d'élasticité et l'allongement à la rupture des lamelles doivent être déterminés conformément à la norme ISO 10406-3. Les largeurs nominales des lamelles  $b_f$  et les épaisseurs nominales des lamelles  $t_f$  utilisées pour la détermination de la résistance à la traction et du module d'élasticité doivent être indiquées.

3.5.2.2 Le coefficient de dilatation thermique des lamelles doit être déterminé selon la norme SN EN 1770.

3.5.2.3 Doivent être déclarés

- désignation du produit,
- mode de stockage, durée maximale de stockage,
- limites climatiques de service (température de transition vitreuse  $T_g$  de la matrice),
- prescriptions de sécurité,
- type de fibres et teneur en volume des fibres,
- colle à utiliser,
- rayons de courbure minimaux pour le stockage, le transport et le collage,
- valeur moyenne du coefficient de dilatation  $\alpha_f$ ,
- valeur caractéristique de la résistance à la traction  $f_{tuk}$ ,
- valeur caractéristique de l'allongement de rupture  $\varepsilon_{fuk}$ ,
- valeur caractéristique du module d'élasticité  $E_{fk}$ .

3.5.2.4 L'aptitude des lamelles en combinaison avec la colle à utiliser doit être prouvée, comme décrit au chiffre 3.2.1.2.

## 3.6 Tissés et non-tissés en matériau composite

### 3.6.1 Types et désignations

3.6.1.1 Les tissés et non-tissés peuvent être appliqués sur le support par collage humide ou sec.

3.6.1.2 Les tissés et non-tissés présentent un comportement élastique - linéaire jusqu'à la rupture en traction.

### 3.6.2 Exigences, essais et contrôles

3.6.2.1 La résistance à la traction, le module d'élasticité et l'allongement à la rupture des tissés respectivement des non-tissés doivent être déterminés selon la norme ISO 10406-2 pour chaque direction principale. La section des fibres utilisée (largeur  $b_f$  et épaisseur  $t_f$ ) doit être indiquée.

3.6.2.2 Le coefficient de dilatation thermique des tissés respectivement des non-tissés doit être déterminé selon la norme SN EN 1770.

3.6.2.3 Doivent être déclarés :

- désignation du produit,
- mode de stockage, durée maximale de stockage,
- limites climatiques de service (température de transition vitreuse  $T_g$  de la colle),
- prescriptions de sécurité,
- type de fibres et colle prescrite,
- valeur moyenne du coefficient de dilatation  $\alpha_f$ ,
- valeur caractéristique de la résistance à la traction  $f_{tuk}$ ,
- valeur caractéristique de l'allongement de rupture  $\varepsilon_{fuk}$ ,
- valeur caractéristique du module d'élasticité  $E_{fk}$ .

3.6.2.4 L'aptitude des tissus et non-tissés en combinaison avec la colle à utiliser doit être prouvée, comme décrit au chiffre 3.2.1.2.

### 3.7 Systèmes de précontrainte pour armatures collées

#### 3.7.1 L'aptitude des systèmes de précontrainte des armatures collées doit être prouvée.

#### 3.7.2 Doivent être déclarés :

- prescriptions de sécurité,
- dimensions de l'armature collée,
- description des composants des fixations temporaires et permanentes; le fonctionnement du système de précontrainte comprenant l'élément de construction à renforcer, l'armature collée, la liaison, l'ancrage d'extrémité, la mise en tension,
- forces de précontrainte,
- colle et lamelles à utiliser,
- exigences relatives aux colles selon 3.3,
- exigences relatives aux lamelles selon 3.5,
- résistances minimales du support, afin que les forces de précontrainte soient transmises durablement,
- pertes de précontrainte (à court terme pendant l'application, à long terme pendant la durée d'utilisation du système de renforcement),
- espacement minimal entre les armatures collées précontraintes,
- résistance ultime maximale de l'ancrage utilisé lorsque le système de précontrainte est employé comme précontrainte sans adhérence.

### 3.8 Moyens auxiliaires

#### 3.8.1 Mortier de réparation

Les mortiers de réparation sont utilisés pour reprofiler des éclatements. Les spécifications du tableau NA.2 de la norme SN EN 1504-3:2005 pour le domaine d'application "Mortiers et bétons utilisés pour les renforcements et les réparations structurales" doivent être respectées.

#### 3.8.2 Produits de nettoyage

Les produits de nettoyage doivent être adaptés aux matériaux de construction utilisés.

#### 3.8.3 Ancrages en acier

La classification, les exigences et les essais sont définis dans les normes SIA 263 et SIA 263/1.

#### 3.8.4 Enduits et protections de surface

La compatibilité à long terme des matériaux de construction utilisés pour des raisons de physique du bâtiment, de protection contre l'incendie ou d'architecture doit être garantie.

## 4 ANALYSE STRUCTURALE ET DIMENSIONNEMENT

### 4.1 Analyse structurale

#### 4.1.1 Généralités

- 4.1.1.1 Les situations de risque pour la structure porteuse existante doivent être vérifiées et complétées en tenant compte du projet en cours d'étude. Les principes des normes SIA 269, SIA 269/1, SIA 269/2, SIA 269/3, SIA 269/4, SIA 269/5 et SIA 269/6-2 sont applicables.
- 4.1.1.2 Aux situations de risque pour les structures porteuses avec armatures collées correspondent des états-limites de type 2 selon SIA 269. On distingue les deux types de situations de risque suivants :
- situations de risque découlant de l'utilisation prévue,
  - défaillance de l'armature collée comme situation de projet exceptionnelle.
- 4.1.1.3 Des actions exceptionnelles et des situations critiques peuvent entraîner la défaillance de l'armature collée. De telles situations de risque sont par ex :
- température élevée (par exemple en raison d'un incendie, de l'exposition au soleil, de la pose au chalumeau de membranes d'étanchéité ou de la mise en place d'asphalte coulé),
  - choc,
  - attaque chimique,
  - dommages dus à la négligence ou à la malveillance.
- 4.1.1.4 Pour les états-limites de type 4 selon SIA 269 (fatigue), la sécurité structurale relative à la défaillance des matériaux de construction utilisés est considérée comme prouvée, si l'on procède selon 4.3.8 pour le support en béton et selon 4.4.5 pour le support en acier. Les normes SIA 269/2 à 269/6 règlent, en relation avec la norme SIA 269/1, la détermination de la valeur de fatigue des charges de service et définissent les résistances et les coefficients correspondants.
- 4.1.1.5 Les résistances ultimes des éléments de construction non renforcés doivent être vérifiées avec les effets des actions actualisés.

#### 4.1.2 Déformations imposées et entravées

Si les entraves prédominent, il faut s'assurer qu'aussi les zones renforcées peuvent absorber les déformations imposées

#### 4.1.3 Modèle de la structure

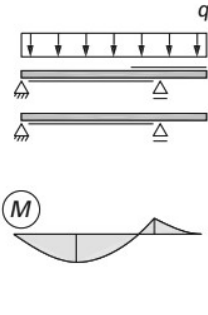
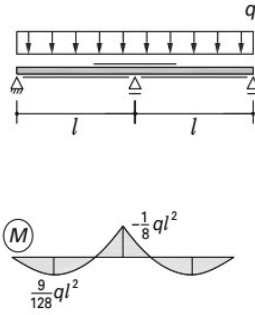
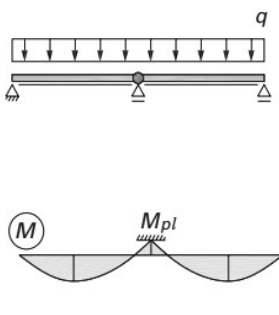
Pour les éléments de construction renforcés par une armature collée, la compatibilité doit être prouvée jusqu'à la rupture.

#### 4.1.4 Méthode de calcul

- 4.1.4.1 Le renfort à la flexion entraîne en général une réduction de la capacité de déformation plastique de la structure porteuse. La méthode de calcul pour la détermination des efforts internes doit donc être choisie en fonction des variantes de structure porteuse et de renforcement présentées dans le tableau 4. En règle générale, les efforts internes des zones renforcées sont déterminés à l'aide des méthodes de la théorie de l'élasticité linéaire. Pour les structures porteuses en acier renforcées, on utilise les méthodes EE respectivement EER selon SIA 263.
- 4.1.4.2 Le dimensionnement des armatures collées pour le renfort à la flexion nécessite la détermination des efforts internes dans toutes les parties de la structure qui sont influencées par le renforcement.
- 4.1.4.3 Les armatures collées pour le renfort à la flexion ne doivent pas être employés pour renforcer les zones comprimées. Si des zones de tension fissurées sont renforcées par des armatures collées, il faut veiller à ce que ces zones ne soient pas comprimées en cas de combinaisons de charges défavorables, afin d'éviter le détachement ou le flambage des armatures collées.
- 4.1.4.4 La valeur de dimensionnement de l'effet des actions  $E_d$  doit être déterminée en tenant compte de la charge et de la déformation de l'élément régnant au moment de l'application de l'armature collée.

## 4.1.4.5 Les armatures collées précontraintes entraînent des efforts internes dont il faut également tenir compte.

Tableau 4 Méthodes de calcul pour la détermination des efforts internes

| Système statique            | Isostatique                                                                       | Hyperstatique                                                                                                                                           |                                                                                                                                                                                                                                            |
|-----------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Renfort flexionnel          | Renforcement total ou partiel                                                     | Renforcement complet                                                                                                                                    | Renforcement partiel                                                                                                                                                                                                                       |
| Exemple                     |  |                                                                        |                                                                                                                                                         |
| Calcul des efforts internes | Selon l'équilibre                                                                 | En général calcul élastique des efforts internes de l'ouvrage existant. Dans les structures en béton l'effet raidisseur des lamelles peut être négligé. | Des redistributions sont admissibles si des articulations plastiques peuvent se former dans les zones non renforcées, et, lorsque c'est le cas, qu'elles se forment avant que l'état-limite ultime soit atteint dans les zones renforcées. |

## 4.1.5 Armatures collées précontraintes pour le renforcement des structures en béton

- 4.1.5.1 La précontrainte des lamelles en matériaux composites peut être considérée comme un effet des forces d'ancrage. Comme les lamelles appliquées ultérieurement sont généralement droites, il n'y a pas d'efforts de déviation et de frottement.
- 4.1.5.2 Pour la preuve de la sécurité structurale, la force de précontrainte doit être considérée comme une action prépondérante, par analogie avec la norme SIA 262. La force de précontrainte de chaque lamelle doit être augmentée de  $\gamma_p = 1,5$ , la force de précontrainte de plusieurs lamelles de  $\gamma_p = 1,2$ , la valeur la plus élevée étant déterminante.
- 4.1.5.3 La précontrainte crée un état d'auto-contraintes dans la structure porteuse et entraîne des déformations de la structure porteuse. Pour les systèmes hyperstatiques, les sollicitations résultent généralement d'une déformation entravée. Les modèles doivent être choisis de manière à correspondre le plus possible au comportement de la structure réelle.
- 4.1.5.4 La preuve des fixations des dispositifs de précontrainte temporaires et des ancrages permanents avec des goujons doit être apportée conformément à la norme SIA 179.
- 4.1.5.5 Les éventuelles pertes de précontrainte sont à relever dans les déclarations du fabricant, voir également 3.7. Les pertes de précontrainte dues aux déformations à long terme du support sont à déterminer selon les normes correspondantes.
- 4.1.5.6 Les spécifications des fabricants concernant les forces de précontrainte dans les lamelles en matériau composite doivent être prises en compte.
- 4.1.5.7 Les contraintes de compression dans le béton pendant et immédiatement après la mise en tension ne doivent pas dépasser la valeur suivante en dehors des zones d'ancrage, par analogie avec la norme SIA 262 :

$$\sigma_c \leq 0,6 \cdot f_{ck} \quad (4)$$

#### 4.1.6 Auxiliaires d'ancrage

- 4.1.6.1 Des dispositifs supplémentaires permettent d'obtenir des résistances d'ancrage plus élevées ou des longueurs d'ancrage plus courtes que celles indiquées aux chiffres 4.3.2., 4.3.3 et 4.4.2. Par exemple, on peut utiliser des goujons d'ancrage pour les lamelles en acier ou des plaques de pinçage pour les lamelles et les tissés respectivement non-tissés en matériaux composites.
- 4.1.6.2 Le comportement de tels systèmes d'ancrage, en particulier leur résistance d'ancrage, doit être déterminé sur la base des déclarations du fabricant.
- 4.1.6.3 Les résistances de différents systèmes d'ancrage, comme les fixations mécaniques combinées avec le collage, ne doivent pas être superposées.

### 4.2 Valeurs de dimensionnement

- 4.2.1 Pour la valeur de dimensionnement  $X_d$  de la propriété du matériau de construction, on applique:

$$X_d = \frac{\eta \cdot X_k}{\gamma_M} \quad (5)$$

où  $\eta$  est déterminé selon le tableau 5.

- 4.2.2 Pour les modes de défaillance spécifiques des armatures collées, les coefficients selon le Tableau 5 doivent être utilisés pour les résistances.

Tableau 5 Coefficients pour la détermination des valeurs de dimensionnement des propriétés des matériaux de construction

| <u>Rupture du renforcement</u>                                                                                                                                                            |                                                                           |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------|
| Lamelle en acier                                                                                                                                                                          | $\gamma_M = 1,05$                                                         |
| Lamelle en matériau composite                                                                                                                                                             | $\gamma_M = 1,10$                                                         |
| Tissés/non-tissés en matériau composite                                                                                                                                                   | $\gamma_M = 1,30$                                                         |
| $\eta = \eta_e \eta_l$<br>avec $\eta_e$ selon tableau 1<br>avec $\eta_l$ selon tableau 3                                                                                                  |                                                                           |
| <u>Rupture d'adhérence</u>                                                                                                                                                                |                                                                           |
| Rupture d'adhérence dans le support en béton                                                                                                                                              | $\gamma_M = 1,50$ , autres valeurs $\eta$ selon SIA 262 et SIA 269/2      |
| Rupture d'adhérence dans le support en acier ou dans la colle                                                                                                                             | $\gamma_M = 1,50$ , autres valeurs $\eta$ selon SIA 263 et SIA 269/3      |
| Rupture d'adhérence dans le support en bois                                                                                                                                               | $\gamma_M$ et autres valeurs $\eta$ selon SIA 265, SIA 265/1 et SIA 269/5 |
| Rupture d'adhérence dans le support en maçonnerie                                                                                                                                         | $\gamma_M$ selon SIA 266 et SIA 269/6-2                                   |
| $\eta = \eta_u \eta_l$<br>avec $\eta_u$ selon tableau 2<br>avec $\eta_l$ selon tableau 3                                                                                                  |                                                                           |
| <u>Défaillance des moyens auxiliaires d'ancrage</u>                                                                                                                                       |                                                                           |
| En cas d'utilisation de dispositifs d'ancrage conformément au chiffre 4.1.6, les coefficients, compte tenu de l'utilisation prévue, doivent être déterminés par une méthode scientifique. |                                                                           |

- 4.2.3 Pour les valeurs de dimensionnement de la résistance à la traction et de l'allongement à la rupture des armatures collées, on applique:

$$f_{fud} = \eta_e \cdot \eta_l \cdot \frac{f_{fuk}}{\gamma_M} \quad (6)$$

$$\varepsilon_{fud} = \eta_e \cdot \eta_l \cdot \frac{\varepsilon_{fuk}}{\gamma_M} \quad (7)$$

- 4.2.4 Pour les valeurs de dimensionnement des modules d'élasticité des armatures collées, s'applique:

$$E_{fd} = \frac{E_{fk}}{\gamma_M} \quad (8)$$

4.2.5 En général, on peut supposer que  $\gamma_M = 1,0$  dans l'équation (8).

### 4.3 Vérification de la sécurité structurale des renforcements de structures porteuses existantes en béton

#### 4.3.1 Généralités

4.3.1.1 Pour la modélisation, on distingue la zone fonctionnelle et la zone d'ancrage d'une armature collée (pour les structures en béton selon figure 3). Dans la zone fonctionnelle, l'armature collée peut absorber des forces de traction et ainsi renforcer de manière ciblée la section d'élément de construction située dans cette zone. Les forces de traction ainsi générées aux extrémités de la zone fonctionnelle doivent être ancrées dans les zones d'ancrage. La condition préalable à la vérification selon 4.3.2.3 est que l'ancrage se trouve dans la zone théoriquement non fissurée d'un élément de construction.

4.3.1.2 La zone théoriquement non fissurée est déterminée au niveau du dimensionnement et avec la valeur caractéristique réduite de la résistance à la traction du béton  $f_{ctk0,05}$ . Dans cette zone, on a

$$\sigma_{cd}(S_d) \leq \frac{f_{ctk0,05}}{\gamma_M} \quad (9)$$

4.3.1.3 Les efforts internes à l'extrémité de la zone fonctionnelle sont déterminés selon les méthodes indiquées au tableau 4. La force de traction qui en résulte dans l'armature collée  $F_{fcr,d}$  est la force d'ancrage à reprendre dans la zone d'ancrage.

4.3.1.4 La sécurité structurale de l'ancrage est considérée comme prouvée lorsque la condition suivante est remplie :

$$F_{fcr,d} \leq F_{b,Rd} \quad (10)$$

#### 4.3.2 Ancrage collé sur la surface

4.3.2.1 Pour le calcul de la résistance de l'ancrage sur le béton, on suppose que la ruine se produit en atteignant la résistance à la traction du béton.

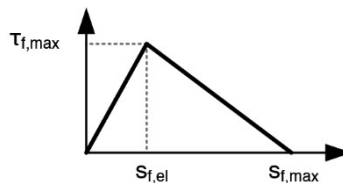
4.3.2.2 La zone d'ancrage est égale à la surface non fissurée côté lamelle de l'élément de construction. On peut distinguer les longueurs caractéristiques et les résistances d'ancrage pouvant être absorbées suivantes :

$l_{bd}$  Valeur de dimensionnement de la longueur du tronçon de lamelle située dans la zone d'ancrage entièrement non fissurée. La résistance de l'ancrage  $F_{b,Rd}$  pouvant être absorbée pour cette longueur d'ancrage peut être déterminée selon l'équation (12).

$l_{b0d}$  Valeur de dimensionnement de la longueur d'ancrage active dont le dépassement n'entraîne pas d'augmentation de la résistance d'ancrage. La résistance d'ancrage maximale pouvant être absorbée  $F_{b0,Rd}$  peut être déterminée selon l'équation (11).

4.3.2.3 L'application de la loi d'adhérence selon **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** conduit aux équations de la résistance d'ancrage de l'armature collée sur le béton.

Figure 1 Loi d'adhérence pour la détermination de la résistance ultime des ancrages collés



$$F_{b,Rd} = F_{b0,Rd} = b_f \cdot \sqrt{2 \cdot G_{Fcd} \cdot E_{fd} \cdot t_f} \quad \text{si } l_{bd} \geq l_{b0d} \quad (11)$$

$$F_{b,Rd} = F_{b0,Rd} \cdot \frac{l_{bd}}{l_{b0d}} \cdot \left(2 - \frac{l_{bd}}{l_{b0d}}\right) \quad \text{si } l_{bd} < l_{b0d} \quad (12)$$

- 4.3.2.4 La valeur de dimensionnement de la longueur d'ancrage active  $l_{b0d}$  des armatures collées sur du béton, peut être déterminée par la relation suivante:

$$l_{b0d} = 2,5 \cdot \sqrt{\frac{G_{Fcd} \cdot E_{fd} \cdot t_f}{\tau_{c,max,d}^2}} \quad (13)$$

- 4.3.2.5 La valeur de dimensionnement de l'énergie de rupture spécifique  $G_{Fcd}$  du béton proche de la surface est, pour le béton des classes C20/25 à C50/60, approximativement proportionnelle à la résistance à l'adhérence du béton de surface:

$$G_{Fcd} = \eta_u \cdot \eta_l \cdot \frac{f_{ctH,d}}{8} = \frac{1}{8} \cdot \frac{\eta_u \cdot \eta_l \cdot f_{ctH,k}}{\gamma_M} \quad G_{Fcd} \text{ in N/mm} \quad f_{ctH,k} \text{ en N/mm}^2 \quad (14)$$

- 4.3.2.6 Si la classe de résistance du béton est connue ou si la classe de résistance à la compression est déterminée selon SIA 269/2 et SN EN 13791, la résistance à l'adhérence caractéristique du béton proche de la surface peut être estimée, de manière simplifiée, avec  $f_{ctH,k} = f_{ctk0,05}$ . Les facteurs de réduction  $\eta_u$  et  $\eta_l$  figurent au Tableau 2 et au Tableau 3.

- 4.3.2.7 Si des essais d'arrachement sont effectués pour déterminer la résistance à l'adhérence caractéristique du béton proche de la surface  $f_{ctH,k}$ , ils doivent être réalisés selon la norme SN EN 1542 et leur évaluation doit être effectuée conformément au chiffre 6.2.4.

- 4.3.2.8 La valeur de dimensionnement de la contrainte de cisaillement maximale  $\tau_{c,max,d}$  des armatures collées sur le béton, pouvant être absorbée par le béton proche de la surface, peut être supposée approximativement proportionnelle à la résistance à l'adhérence du béton de surface pour les bétons des classes de résistance C20/25 à C50/60:

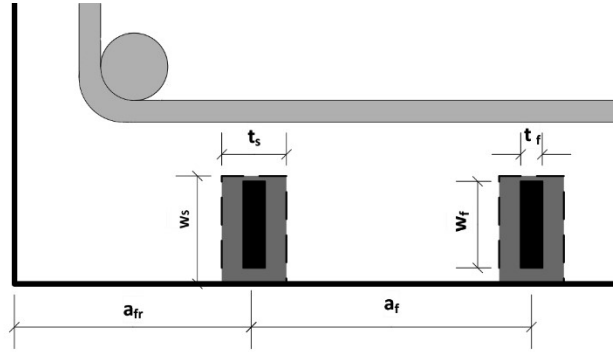
$$\tau_{c,max,d} = \eta_u \cdot \eta_l \cdot \frac{4}{3} \cdot f_{ctH,d} \quad (15)$$

- 4.3.2.9 Les valeurs caractéristiques de la contrainte de cisaillement absorbable  $\tau_{c,max,k}$  et de l'énergie de rupture spécifique  $G_{Fck}$  du béton proche de la surface peuvent également être déterminées à l'aide d'essais d'arrachement d'armatures collées sur le béton (par exemple comme décrit dans la norme ISO 10406-2 pour les tissés).
- 4.3.2.10 Les structures en béton de classes de résistance inférieures à C20/25 (mais supérieures ou égales à C12/15) ne peuvent être renforcées par des armatures collées que si la résistance caractéristique à l'adhérence du béton proche de la surface  $f_{ctH,k}$  est supérieure ou égale à 1,5 MPa. Sinon, pour ces classes de résistances, il faut utiliser des lamelles pour rainures (voir 4.3.3.15).
- 4.3.2.11 La capacité d'adhérence du béton carbonaté ne diminue pas.

### 4.3.3 Ancrages collés dans les rainures

- 4.3.3.1 Les lamelles en matériau composite rectangulaires sont préférables aux barres en matériau composite rondes ou carrées pour une utilisation en tant que lamelles pour rainures.
- 4.3.3.2  $w_f$  et  $t_f$  correspondent à la largeur et à l'épaisseur des lamelles. En section, les lamelles sont mises en place perpendiculairement à la surface ; ainsi, la largeur de la lamelle pour rainures  $w_f$  peut également être désignée comme la profondeur. Les paramètres correspondants sont indiqués à la figure 2.  $w_s$  et  $t_s$  correspondent à la profondeur et la largeur de la rainure. Si la section de la lamelle est carrée,  $w_s = t_s$ .
- 4.3.3.3  $\phi_f$  correspond au diamètre d'une barre pour les armatures collées dans les rainures. Les diamètres ne doivent pas être supérieurs à  $\phi_f = 10$  mm. Les barres carrées pour armatures collées dans les rainures peuvent être utilisées jusqu'à des dimensions maximales  $w_f = t_f = 6$  mm.

Figure 2 Paramètres géométriques pour le dimensionnement des lamelles pour rainures



4.3.3.4 Si plusieurs lamelles sont collées dans une rainure, l'épaisseur totale maximale de 3 mm doit être respectée conformément au tableau 6 et une couche de colle doit être disposée entre les lamelles.

4.3.3.5 La largeur de la rainure  $t_s$  pour les lamelles est de

$$t_f + 1 \text{ mm} \leq t_s \leq t_f + 3 \text{ mm} \quad (16)$$

4.3.3.6 La largeur de la rainure  $t_s$  pour les barres est de

$$\phi_f + 2 \text{ mm} \leq t_s \leq \phi_f + 4 \text{ mm} \quad (10)$$

4.3.3.7 La profondeur de la rainure est limitée par la position de l'armature intérieure en acier. La profondeur minimale de la rainure est  $w_s = w_f + 2 \text{ mm}$  respectivement  $\phi_f + 2 \text{ mm}$ . L'armature collée doit être placée le plus bas possible afin d'éviter le décollement du recouvrement en béton.

4.3.3.8 La distance au nu  $a_r$  par rapport au bord libre de l'élément de construction selon l'équation (18) ou (19) doit être respectée:

$$a_{fr} \geq \max(2 \cdot w_s, 30 \text{ mm}) \quad (18)$$

4.3.3.9 La règle suivante s'applique aux entraxes minimaux  $a_r$  des lamelles pour rainures:

$$a_f \geq 1,5 \cdot w_s \quad (19)$$

4.3.3.10 Les lamelles pour rainures parallèles à la nappe la plus externe de l'armature intérieure en acier devraient, dans la mesure du possible, être placées au milieu entre les barres de l'armature.

4.3.3.11 Analogie aux ancrages collés sur la surface du béton, les armatures collées dans des rainures doivent également être ancrées dans la zone d'ancrage non fissurée selon la figure 3. Les longueurs caractéristiques et les résistances d'ancrage pouvant être absorbées doivent être déterminées en conséquence.

4.3.3.12 La valeur de dimensionnement de la résistance ultime  $F_{b0,Rd}$  d'une armature collée dans des rainures peut être déterminée à l'aide des équations (20) et (21). Les indications constructives selon 4.3.3.1 à 4.3.3.11 doivent être respectées.

$$F_{b,Rd} = F_{b0,Rd} = \sqrt{2 \cdot G_{Fsd} \cdot L_p \cdot E_{fd} \cdot A_f} \leq f_{fd} \cdot A_f \quad \text{si } l_{bd} \geq l_{b0d} \quad (11)$$

$$\text{avec } L_p = 2 \cdot (w_s + 1) + t_s + 2 \text{ mm} \quad (21)$$

pour  $l_{bd} \leq l_{b0d}$  l'équation () s'applique.

4.3.3.13 La valeur de dimensionnement de la longueur d'ancrage active  $l_{b0d}$  des armatures collées dans des rainures peut être déterminée par la relation suivante:

$$l_{b0d} = 2,5 \cdot \sqrt{\frac{G_{Fsd} \cdot E_{fd} \cdot t_f \cdot b_f}{\tau_{s,max,d}^2 \cdot L_p}} \quad (22)$$

4.3.3.14 Si les paramètres géométriques selon 4.3.3 sont respectés, la valeur de dimensionnement de l'énergie de rupture spécifique  $G_{Fsd}$  des armatures collées dans des rainures peut être déterminée à l'aide de l'équation (23). La résistance à l'adhérence caractéristique du béton proche de la surface  $f_{ctH,k}$  peut être déterminée de manière analogue à 4.3.2. Les facteurs de réduction  $\eta_u$  et  $\eta_l$  figurent au Tableau 2 et au tableau 3

$$G_{Fsd} = \eta_u \cdot \eta_l \cdot \frac{2,0}{\gamma_M} \cdot \sqrt{\frac{w_s}{t_s}} \cdot f_{ctH,k} \quad (23)$$

- 4.3.3.15 La valeur de dimensionnement de la contrainte de cisaillement maximale pouvant être absorbée par le béton proche de la surface  $\tau_{s,max,d}$  des armatures collées dans des rainures peut être déterminée approximativement comme suit pour le béton des classes de résistance C12/15 à C50/60 (voir aussi 4.3.2.10):

$$\tau_{s,max,d} = G_{Fsd} \quad G_{Fsd} \text{ in N/mm} \quad (24)$$

#### 4.3.4 Flexion simple et flexion composée d'effort normal

- 4.3.4.1 Les poutres fléchies renforcées cèdent généralement selon l'un des mécanismes de défaillance suivants :
- rupture du support dans la zone renforcée ou non renforcée,
  - rupture du renforcement,
  - rupture de l'adhérence.

La vérification de la sécurité vis-à-vis de ces mécanismes de défaillance est considérée comme établie si les conditions définies au chiffre 4.3.4.5 sont respectées.

- 4.3.4.2 Les résistances ultimes de l'élément de construction renforcé doivent être déterminées en tenant compte des propriétés connues de la structure porteuse. Il faut notamment tenir compte des allongements préexistants dus à l'historique des charges, à la charge au moment du renforcement et à une éventuelle précontrainte.
- 4.3.4.3 Pour réaliser une analyse détaillée des sections, il convient de partir des hypothèses suivantes :
- Les sections restent planes et perpendiculaires à l'axe de la barre.
  - Conformément au chiffre 2.3.2.7, l'armature collée ne transmet que des forces de traction dans sa direction.
  - La résistance à la traction du béton est négligée.
  - Le comportement contrainte-déformation des matériaux de construction impliqués est pris en compte conformément au chapitre 3 et, le cas échéant, au chiffre 4.3.4.4.
- 4.3.4.4 Pour les éléments de construction en béton fléchis, l'hypothèse simplifiée d'une répartition rectangulaire des contraintes de compression n'est admissible que si la situation de ruine correspondant (rupture du béton) peut être prouvée par le calcul.
- 4.3.4.5 En cas de flexion, la sécurité structurale des éléments de construction renforcés est considérée comme prouvée si les conditions suivantes sont remplies :

$$F_{fcd} \leq F_{b,Rd} \quad (\text{vérification de l'ancrage à l'extrémité de la zone fonctionnelle}) \quad (25)$$

$$F_{fd} \leq F_{t,Rd} \quad (\text{vérification de la force de traction dans la zone fonctionnelle}) \quad (12)$$

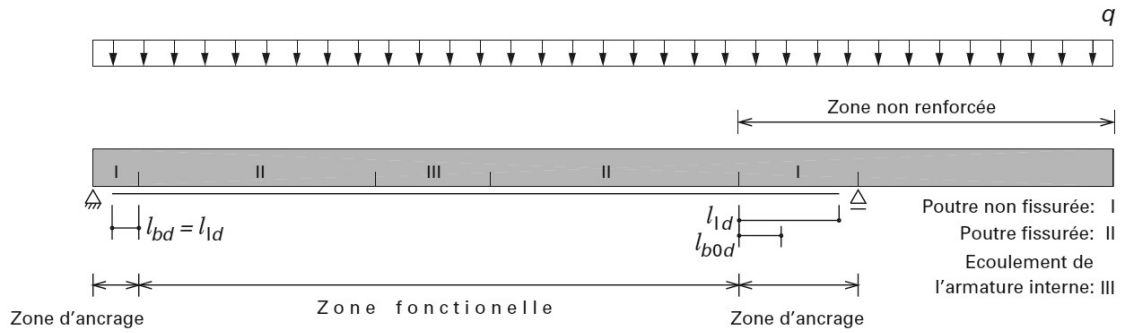
$$V_d \leq V_{t,Rd} \quad (\text{vérification de l'effort tranchant}) \quad (27)$$

- 4.3.4.6 Si le dimensionnement du renfort à la flexion doit être effectué pour des charges qui ne sont pas majoritairement statiques, la vérification de la fatigue doit également être faite conformément au chiffre 4.3.8.
- 4.3.4.7 Pour les éléments de construction principalement sollicités en flexion, afin de garantir une déformabilité minimale, c'est-à-dire d'empêcher le type de rupture "déformation en compression du béton avant l'écoulement de l'acier", la hauteur de la zone comprimée lors de la rupture doit être limitée comme suit:

$$\frac{x}{d} \leq 0,5 \cdot \frac{435}{f_{sd}} \quad (28)$$

- 4.3.4.8 En ce qui concerne les mécanismes de défaillance énumérés au chiffre 4.3.4.1, les remarques suivantes s'appliquent :
- La rupture d'adhérence est le mode de ruine habituel des armatures collées passives avec une rigidité élevée (détachement des lamelles) en raison de la résistance limitée à la traction du béton. L'origine de ce mécanisme de défaillance se situe généralement dans la zone d'ancrage ou dans une zone d'introduction des forces où l'armature interne en acier a déjà dépassé sa limite d'écoulement.
  - Les ruptures par cisaillement dans la colle, dans l'armature collée ou sur l'une des interfaces doivent être évitées par un choix judicieux des composants impliqués et en respectant les prescriptions d'exécution et d'assurance qualité des chapitres 5 et 6.
  - La procédure de vérification de la sécurité structurale s'effectue selon la figure 3.

Figure 3 Contrôles d'une poutre fléchie partiellement renforcée



4.3.4.9 Les efforts internes  $M_d$  et  $V_d$  sont déterminés conformément au chiffre 4.1.4. Elles doivent être attribuées aux composantes des sections selon les principes suivants :

**A. Poutres fléchies renforcées : éléments de construction sans armature d'effort tranchant**

Le moment de flexion provoque des forces de traction dans l'armature et des forces de compression dans le béton (figure 4a). Pour la vérification des forces intérieures dans la zone fonctionnelle, il convient d'utiliser les équations suivantes:

$$F_{sd}(M_d) \leq A_s \cdot E_s \cdot \varepsilon_{sd} \leq A_s \cdot f_{sd} \quad (29)$$

$$F_{fd}(M_d) \leq A_f \cdot E_{fd} \cdot \varepsilon_{fd} \leq A_f \cdot E_{fd} \cdot \varepsilon_{fd,lim} \quad (30)$$

**B. Poutres fléchies renforcées : éléments de construction avec armature d'effort tranchant**

Si le renfort à la flexion est complété par un renfort à l'effort tranchant en forme d'étrier, la capacité de déformation à l'état de rupture est augmentée. De cette manière, les forces intérieures agissant en treillis peuvent être transmises, de sorte que le moment de flexion et l'effort tranchant génèrent tous deux des forces de traction dans le sens longitudinal (figure 4c). La répartition entre l'armature intérieure et l'armature collée peut se faire de la manière suivante :

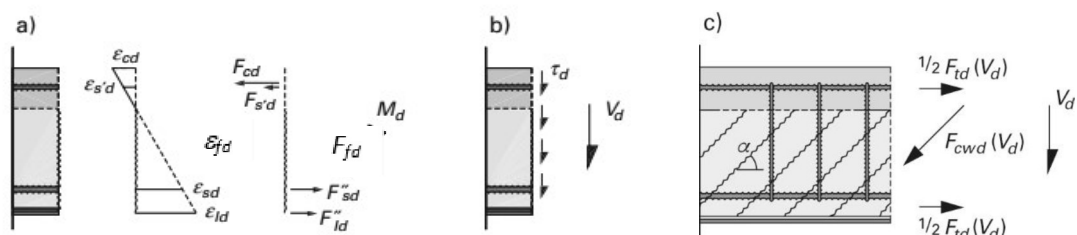
- Dans les zones où l'armature intérieure n'a pas encore atteint la limite d'écoulement due à la flexion, la part de l'effort de traction due à l'effort tranchant lui est attribuée.
- Dans les zones où l'armature intérieure s'écoule, il faut s'assurer que le béton peut transmettre l'augmentation de la force de traction due à l'effort tranchant à la lamelle. Le cas échéant, il faut employer des armatures collées en forme d'étrier qui englobent l'armature collée longitudinale. En outre, il faut veiller à ce que l'armature collée longitudinale soit suffisamment ancrée.
- Dans la zone d'ancrage de la lamelle, l'armature intérieure doit reprendre la totalité de la force de traction.
- Les équations suivantes doivent être utilisées pour la vérification des forces intérieures dans la zone fonctionnelle:

$$F_{td}(V_d) \leq V_d \cdot \cot \alpha \quad (31)$$

$$F_{sd}(M_d, V_d) \leq A_s \cdot E_s \cdot \varepsilon_{sd} + \frac{1}{2} \cdot F_{td}(V_d) \leq A_s \cdot f_{sd} \quad (32)$$

$$F_{fd}(M_d, V_d) \leq A_f \cdot E_{fd} \cdot \varepsilon_{fd} + \frac{1}{2} \cdot F_{td}(V_d) \leq A_f \cdot E_{fd} \cdot \varepsilon_{fd,lim} \quad (33)$$

Figure 4 Forces intérieures pour les poutres avec renfort à la flexion : a) dues à la flexion ; b) dues à l'effort tranchant sans renfort à la flexion ; c) dues à l'effort tranchant avec renfort à l'effort tranchant



- 4.3.4.10 L'allongement maximal  $\varepsilon_{fd,lim}$  des armatures collées sur du béton est limité dans la zone fonctionnelle par la rupture d'adhérence (ou par la rupture de traction de l'armature collée) et peut être déterminé pour la reprise de charges symétriques par la relation suivante:

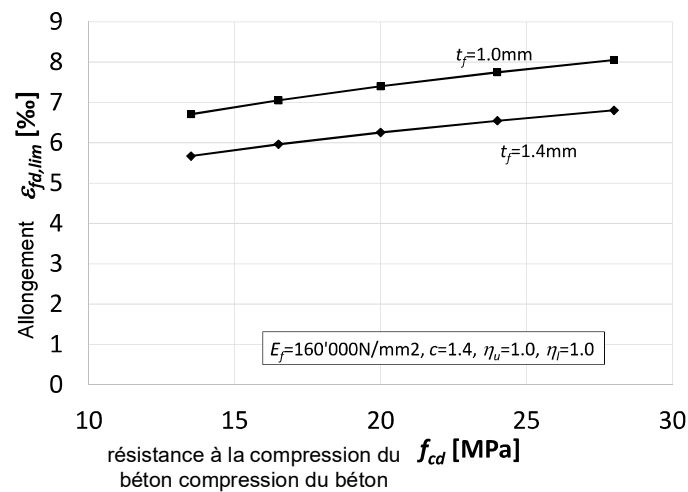
$$\varepsilon_{fd,lim} = c \cdot \eta_u \cdot \eta_l \cdot \sqrt{\frac{f_{cd}^{3/2}}{E_{fd} t_f}} \leq \varepsilon_{fud} \quad (\text{pour les armatures collées en acier } \leq \varepsilon_{tsd}), \quad (13)$$

$f_{cd}$  en N/mm<sup>2</sup>,  $E_{fd}$  en N/mm<sup>2</sup>,  $t_f$  en mm,

avec  $c = 1,4$  pour les lamelles en matériau composite,  $c = 0,9$  pour les tissés et non-tissés en matériau composite,  $c = 1,4$  pour les lamelles en acier,  $\eta_u$  und  $\eta_l$  selon Tableau 2 et

Tableau 3. Des exemples d'allongements maximaux sont donnés à la figure 5.

Figure 5 Exemples de valeurs de dimensionnement des lamelles pour l'allongement maximal  $\varepsilon_{fd,lim}$  selon l'équation (34) en fonction de la résistance du béton



- 4.3.4.11 L'allongement maximal  $\varepsilon_{fd,lim}$  des armatures collées dans des rainures est limité dans la zone fonctionnelle et peut être déterminé par la relation suivante pour la reprise de charges symétriques :

$$\varepsilon_{fd,lim} = 0,8 \cdot \varepsilon_{fud} \quad (35)$$

#### 4.3.5 Effort tranchant

- 4.3.5.1 La résistance à l'effort tranchant des poutres en acier et en béton précontraint peut être augmentée par la mise en place d'armatures collées en forme d'étriers. Le dimensionnement à l'effort tranchant des poutres en acier et en béton précontraint renforcées doit être basé sur un état d'équilibre avec des champs de compression à inclinaison constante.
- 4.3.5.2 La détermination de la résistance à l'effort tranchant  $V_{Rd}$  s'effectue selon SIA 269, les poutres sans renfort à l'effort tranchant entourant les lamelles devant être traitées comme des éléments de construction sans armature d'effort tranchant.
- 4.3.5.3 Les résistances à l'effort tranchant de l'élément de construction non renforcé et de l'armature collée agissant comme étrier peuvent être superposées si les conditions et les règles suivantes sont respectées :
- En état de service non renforcé, il n'y a pas de fissures de cisaillement.
  - Les étriers internes s'écoulent avant que les étriers collés n'atteignent leur force de traction  $F_{fw}$ .
  - Pour les deux composants de la résistance à l'effort tranchant, il convient d'appliquer une inclinaison des diagonales de 45°.
  - La preuve de la défaillance des diagonales du béton comprimé doit être apportée dans la zone entourée par les deux types d'étriers, respectivement dans la zone déterminante.
  - La traction longitudinale due à l'effort tranchant doit pouvoir être absorbée par l'armature intérieure et l'armature collée extérieure selon 4.3.4.8, respectivement par la zone de béton participant à l'effort, comprimée par la flexion. L'armature longitudinale interne doit être suffisamment ancrée aux extrémités.
- En respectant ces points, la résistance de l'ensemble de l'armature d'étrier est de :

$$V_{Rd} = V_{Rd,s} + V_{Rd,f} = \frac{A_{sw}}{s_s} \cdot z_s \cdot f_{sd} + \frac{2 \cdot F_{fwd}}{s_f} \cdot z_f \quad (14)$$

$V_{Rd,s}$  valeur de dimensionnement de la résistance à l'effort tranchant des étriers internes

$V_{Rd,f}$  valeur de dimensionnement de la résistance à l'effort tranchant des étriers collés

$A_{sw}$  aire de section des étriers internes (deux ou plusieurs sections)

$f_{sd}$  valeur de dimensionnement de la limite d'écoulement des étriers internes

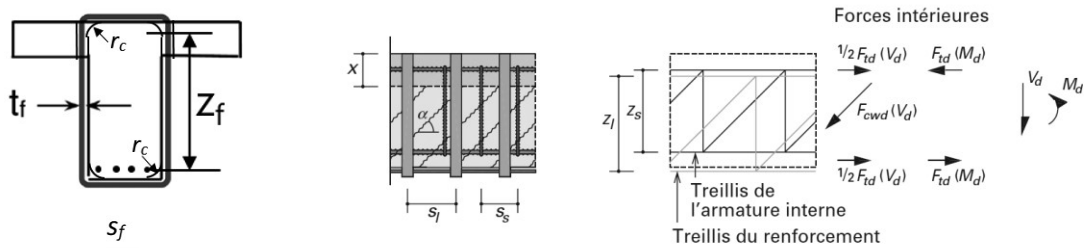
$s_s$  espacement des étriers internes

$z_s$  bras de levier de la résultante de traction et de compression de l'armature intérieure

$F_{fwd}$  valeur de dimensionnement de la force de traction agissant dans l'armature collée

$s_f$       espacement des étriers collés  
 $z_f$       bras de levier de la résultante de traction et de compression de l'armature collée

Figure 6      Modèle de l'effet de l'armature d'effort tranchant



4.3.5.4 Si un renfort à l'effort tranchant entoure la zone comprimée et la zone tendue selon la 6, la valeur de dimensionnement de la force de traction agissant dans l'armature collée peut être déterminée comme suit, si les conditions selon 4.3.5.3 sont respectées:

$$F_{fwd} = b_f \cdot t_f \cdot \eta_{qu} \cdot f_{fud} \quad (37)$$

avec  $\eta_{qu} = 0,3$  (pour  $20 \text{ mm} \leq r_c \leq 25 \text{ mm}$ ),  $r_c$  = rayon d'angle

4.3.5.5 Lorsque la zone comprimée est entourée selon la figure 6, les bras de levier intérieurs  $z_s$  et  $z_r$  peuvent être supposés approximativement égaux à  $0,9d$  selon SIA 262.

4.3.5.6 Si la zone comprimée ne peut pas être entourée selon la figure 6, l'ancrage de la force de traction  $F_{fw}$  dans l'armature collée (dans l'aile) est à déterminer expérimentalement selon la

4.3.5.7

4.3.5.8

4.3.5.9 Figure 7      Principe des preuves expérimentales pour la détermination de la force d'étrier  $F_{fw}$  ancrée dans l'armature collée

4.3.5.10 La valeur de dimensionnement de la force de traction  $F_{fwd}$  peut être établie à partir de la force de traction  $F_{fw}$ , déterminée expérimentalement, selon l'équation (5) en fonction du type de rupture, des conditions environnementales et des conditions à long terme et de l'équation (38). Enfin, la vérification de l'effort tranchant doit être effectuée à l'aide de l'équation (36).

$$F_{fwd} = \min(F_{fwd,1}, F_{fwd,2}, F_{fwd,3}, F_{fwd,4}) \quad (38)$$

4.3.5.11 Les ancrages mécaniques, tels que les ancrages en carbone ou les cornières en acier avec goujons, doivent entourer la résultante de l'effort de compression de la membrure et leur résistance ultime doit être déterminée expérimentalement de manière analogue à la procédure décrite au chiffre 4.3.4.8. En outre,  $z_r$  doit être réduit en conséquence.

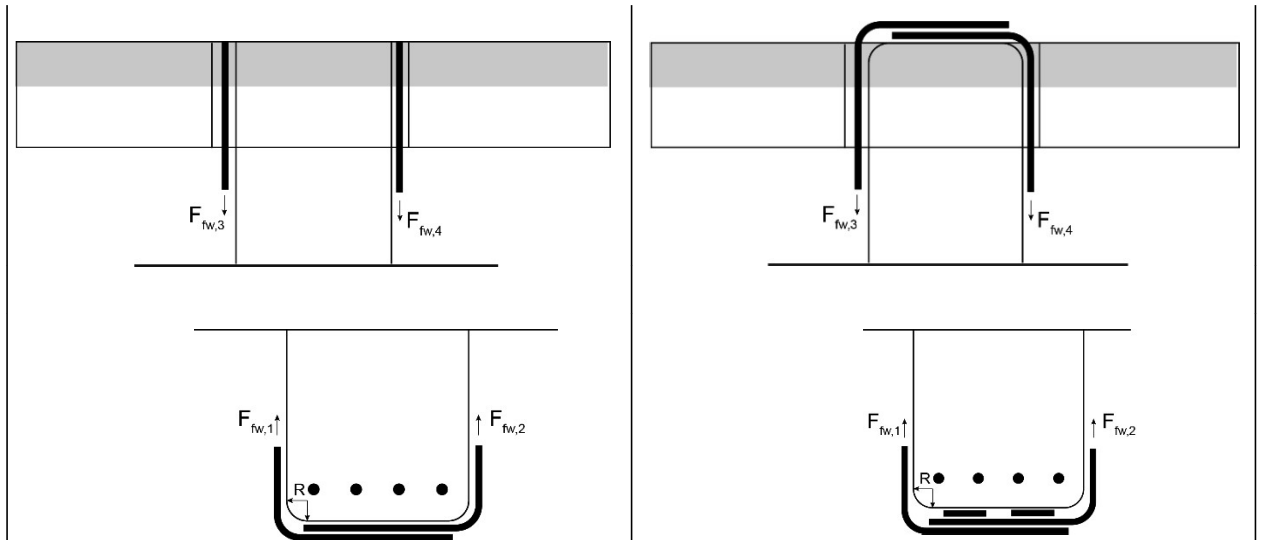
4.3.5.12 Si le chevauchement de l'armature collée se fait sur la face inférieure de l'âme, l'ancrage de la force de traction  $F_{fwd}$  dans l'armature collée doit être vérifié expérimentalement selon la

4.3.5.13

4.3.5.14

4.3.5.15 Figure 7      Principe des preuves expérimentales pour la détermination de la force d'étrier  $F_{fw}$  ancrée dans l'armature collée

Figure 7 Principe des preuves expérimentales pour la détermination de la force d'étrier  $F_{fw}$  ancrée dans l'armature collée



- 4.3.5.16 Si une poutre fléchie doit être renforcée pour l'effort tranchant et qu'elle présente déjà des fissures de cisaillement à l'état de service non renforcé, il faut utiliser des étriers qui englobent toute la hauteur de la poutre et qui peuvent être précontraints. L'effet de collage n'a ainsi qu'un caractère constructif.
- 4.3.5.17 La traction longitudinale due à l'effort tranchant est attribuée à l'armature intérieure selon 4.3.4.8.

#### 4.3.6 Poinçonnement

Selon SIA 262 l'armature collée ne peut être prise en compte dans la résistance à la flexion incluse dans la résistance au poinçonnement que si une défaillance prématurée de l'armature collée peut être exclue. L'historique des charges et le comportement en déformation doivent être pris en compte de manière détaillée, en tenant compte du chiffre 4.1.4.1. Les armatures collées de poinçonnement, installées ultérieurement, peuvent être prises en compte pour le renforcement de la résistance au poinçonnement, si le comportement charge-déformation et le critère de rupture ont été modélisés avec suffisamment de précision.

#### 4.3.7 Confinement des éléments comprimés

- 4.3.7.1 Pour les éléments comprimés en béton armé, un confinement avec une armature collée peut assurer tout ou une partie des fonctions suivantes :
- augmentation de la résistance à la compression longitudinale en créant un état de contrainte multiaxial favorable,
  - absorption des efforts d'éclatement dans les zones d'introduction des charges et dans les joints d'armatures,
  - absorption de l'effort tranchant pour les piliers,
  - prévention du flambage de l'armature longitudinale.
- 4.3.7.2 Un confinement des éléments comprimés augmente non seulement leur résistance, mais aussi leur déformation en compression à la rupture et donc leur déformabilité.
- 4.3.7.3 Si la résistance à l'effort normal d'éléments comprimés doit être augmentée avec un confinement, la valeur de calcul de la contrainte moyenne de confinement  $\sigma_{1d}$  peut être calculée comme suit, pour des confinements sur toute la surface avec des tissés ou des non-tissés (voir aussi figure 8 et figure 9), si le chiffre 5.2.12 est respecté:

Sections circulaires de diamètre  $D \geq 150$  mm avec  $\eta_{um} = 0,5$ :

$$\sigma_{1d} = \frac{2 \cdot t_f}{D} \cdot \eta_{um} \cdot f_{fud} \quad (39)$$

Sections rectangulaires avec la plus grande longueur de côté  $A$  et la plus petite longueur de côté  $B$  (avec  $A \leq 2B$  et  $B \geq 100$  mm) :

$$\sigma_{1d} = \left(\frac{B}{A}\right)^2 \cdot \left(1 - \frac{(B-2\cdot r_c)^2 + (A-2\cdot r_c)^2}{3AB}\right) \cdot \frac{2\cdot t_f}{\left(\frac{2\cdot AB}{A+B}\right)} \cdot \eta_{um} \cdot f_{fud} \quad (40)$$

avec  $r_c$  = rayon d'angle et

$$\eta_{um} = 0,5 \cdot \left(\frac{r_c}{50}\right) \cdot \left(2 - \frac{r_c}{50}\right) \quad \text{pour } 20 \text{ mm} \geq r_c \leq 50 \text{ mm} \quad (41)$$

Figure 8 Exemple d'explication des valeurs de dimensionnement pour la contrainte de confinement moyenne de l'enveloppe  $\sigma_{1d}$  selon les équations (40) à (42) en fonction des longueurs des côtés A et B

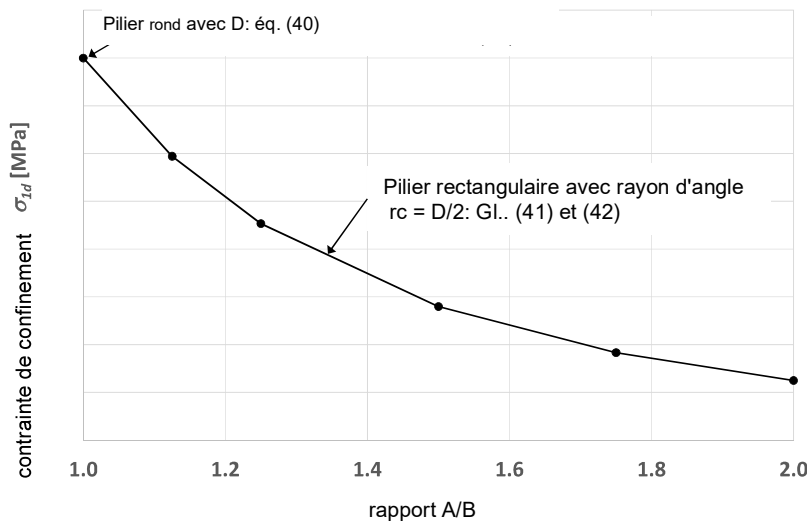
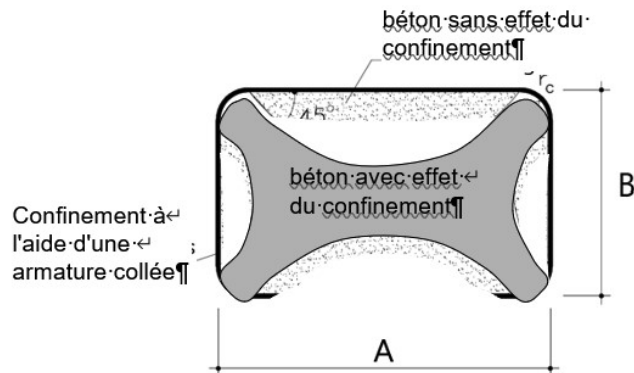


Figure 9 Confinement avec armature collée



- 4.3.7.3 L'augmentation de la résistance à la compression du béton par confinement peut être calculée comme suit en fonction de la contrainte de confinement moyenne  $\sigma_{1d}$  selon SIA 262:

$$f_{ccd} = \left(1 - 4 \cdot \frac{\sigma_{1d}}{f_{cd}}\right) \cdot f_{cd} \quad (15)$$

- 4.3.7.4 Le calcul d'un confinement partiel s'effectue par analogie.

- 4.3.7.5 Si les étriers intérieurs présentent un allongement à la rupture suffisamment important (c'est-à-dire  $f_t > 0,5f_{tld}/E_{fd}$ ), leur contrainte de confinement peut être prise en compte selon SIA 262 en plus du confinement externe. Les deux composants peuvent alors être additionnés.

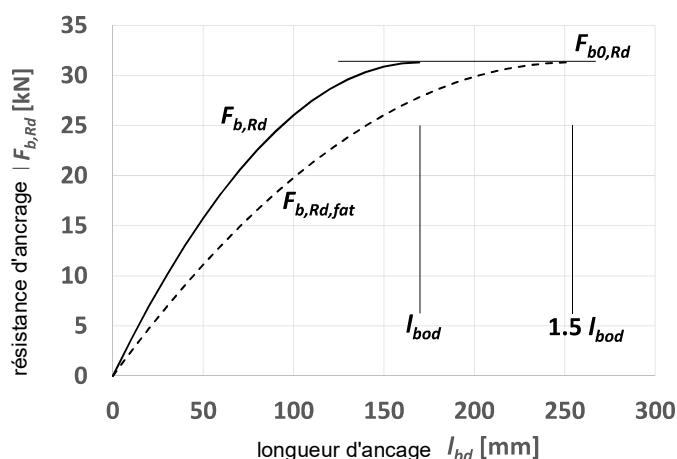
- 4.3.7.6 L'effet des actions de la compression verticale des éléments comprimés sur le reste de la structure porteuse doit être pris en compte.

### 4.3.8 Fatigue

- 4.3.8.1 Selon SIA 262, une vérification de la fatigue est nécessaire lorsque plus de 50'000 cycles de chargement sont attendus.
- 4.3.8.2 Une défaillance par fatigue des éléments de construction en béton armé renforcés par des armatures collées peut se produire dans l'acier d'armature interne, dans l'armature collée elle-même ou dans la liaison de l'armature collée avec la surface du béton.
- 4.3.8.3 La vérification de la fatigue de l'armature d'acier intérieure selon SIA 269/2 est généralement déterminante en cas de sollicitation à la fatigue d'éléments de construction en béton renforcés par une armature collée.
- 4.3.8.4 La valeur de dimensionnement de la contrainte de traction maximale et de l'allongement à la rupture dans l'armature collée sous les charges de fatigue doit être déterminée conformément au chiffre 4.2.3.
- 4.3.8.5 La valeur de dimensionnement de la résistance de l'ancrage pouvant être absorbée  $F_{b,Rd,fat}$  pour une sollicitation à la fatigue en fonction de la longueur d'ancrage  $l_{bd}$  se calcule comme suit (voir aussi Figure 10 Résistance de l'ancrage pour une sollicitation statique et de fatigue):

$$F_{b,Rd,fat} = F_{b0,Rd} \cdot \frac{l_{bd}}{l_{b0d} \cdot 1,5} \cdot \left( 2 - \frac{l_{bd}}{l_{b0d} \cdot 1,5} \right) \quad \text{si } l_{bd} < l_{b0d} \cdot 1,5 \quad (43)$$

Figure 10 Résistance de l'ancrage pour une sollicitation statique et de fatigue



- 4.3.8.6 Les flèches et les ouvertures de fissures peuvent augmenter sous une sollicitation de fatigue.

### 4.3.9 Séisme

#### 4.3.9.1 Généralités

- 4.3.9.1.1 Selon SIA 269/8 les armatures collées ne peuvent être utilisées que pour augmenter la déformabilité et/ou la résistance des éléments porteurs non ductiles.
- 4.3.9.1.2 Le renforcement d'un mécanisme de défaillance fragile, tel que la défaillance par effort tranchant, à l'aide d'une armature collée n'entraîne pas de défaillance ductile. En revanche, le renforcement permet de déplacer la ruine vers un autre endroit où se produit une défaillance ductile.
- 4.3.9.1.3 Pour que les armatures collées soient efficaces, il faut prévoir des ancrages d'extrémité suffisamment résistants avec des détails de construction appropriés. Les ancrages d'extrémité doivent être dimensionnés selon 4.3.2 et 4.3.3 et le chevauchement selon 5.2.7.
- 4.3.9.1.4 Les armatures collées ne peuvent pas corriger les grandes irrégularités de rigidité et de résistance dans le plan. Le cas échéant, certains éléments porteurs doivent être renforcés afin de réduire les irrégularités.

#### 4.3.9.2 Renforcements pour augmenter la déformabilité

- 4.3.9.2.1 Les ruptures fragiles, telles que les ruptures d'effort tranchant, les ruptures d'adhérence en cas de chevauchement d'armatures d'acier internes, le flambage d'armatures d'acier internes dans les poteaux ou la défaillance des assemblages poteaux-poutres, peuvent être évitées par des confinements avec des armatures collées. Ces mesures n'augmentent pas la rigidité et la résistance de l'ensemble du système.

- 4.3.9.2.2 Les confinements avec des armatures collées peuvent également améliorer la capacité de rotation des articulations plastiques. Des indications sur le calcul de la capacité de rotation maximale des sections enroulées avec des armatures collées peuvent être trouvées dans la norme SIA 269/8.
- 4.3.9.3 Renforcements pour augmenter la résistance ultime
- 4.3.9.3.1 Lors de renforts à la flexion de poteaux et de voiles avec des armatures collées, il faut veiller à un ancrage suffisant des forces de traction dans les éléments voisins. Dans la mesure du possible, l'ancrage doit être réalisé dans des zones non fissurées, par analogie avec le principe appliqué aux renforcements statiques en figure 3 avec une zone fonctionnelle et des zones d'ancrage.
- 4.3.9.3.2 Les renforts à la flexion avec des armatures collées peuvent réduire la capacité de rotation.
- 4.3.9.3.3 La rigidité et la résistance de la structure porteuse pour supporter les actions horizontales ne peuvent être augmentées que par la mise en place de renforts à la flexion avec des armatures collées.
- 4.3.9.4 Coefficient de comportement  $q$
- 4.3.9.4.1 L'analyse structurale basée sur les forces est effectuée selon SIA 261. La rigidité de flexion effective doit être déterminée selon SIA 269/8.
- 4.3.9.4.2 Si une armature collée est utilisée pour dimensionner des structures porteuses pour un comportement non ductile, il convient d'utiliser  $q = 1,5$  pour le coefficient de comportement.
- 4.3.9.4.3 Si une armature collée est utilisée pour dimensionner des structures porteuses en béton pour un comportement ductile, il convient d'utiliser  $q = 3,0$  pour le coefficient de comportement. Dans les zones où des articulations plastiques peuvent se former, les armatures collées ne peuvent être utilisées que sous forme de confinement et d'étriers.
- 4.3.9.5 Dispositions constructives
- 4.3.9.5.1 Dans la construction en béton, les dispositions des normes SIA 262 et SIA 269 relatives aux confinements peuvent être appliquées par analogie.
- 4.3.9.5.2 Les longueurs d'ancrage nécessaires sont déterminées conformément aux chiffres 4.3.2, 4.3.3 et 5.2.
- 4.3.9.5.3 En cas de renforts à la flexion, il convient d'accorder une attention particulière aux détails de construction pour la transmission des forces de traction dans les nœuds.
- 4.3.9.5.4 Les armatures collées utilisées pour le renfort à la flexion des poteaux peuvent être soumises à une compression sous l'effet d'un séisme et doivent donc être enveloppées afin d'éviter tout flambage et tout détachement.
- 4.3.10 **Incendie**
- Il convient de procéder comme indiqué au chiffre 2.4.2.7.

## **4.4 Vérification de la sécurité structurale des renforcements de structures existantes en acier**

### **4.4.1 Généralités**

- 4.4.1.1 Les armatures collées peuvent être utilisées pour
- augmenter la sécurité structurale,
  - fermer les fissures de fatigue existantes,
  - stopper la propagation des fissures.
- 4.4.1.2 La sécurité structurale doit être déterminée à l'aide des principes selon SIA 263 et SIA 269/3, en tenant compte des modes de rupture supplémentaires que sont le décollement et la défaillance en traction de l'armature collée.
- 4.4.1.3 Si l'armature collée est précontrainte au lieu d'être collée de manière passive, les efforts de traction dans les structures en acier peuvent être réduits de façon plus efficace, en particulier pour les matériaux fragiles, comme la fonte, et en cas de sollicitation à la fatigue.

#### 4.4.2 Ancrage collée sur la surface

- 4.4.2.1 Pour le calcul de la résistance de l'ancrage sur l'acier, on suppose que la défaillance se produise en atteignant la résistance au cisaillement de la colle. La résistance d'ancrage maximale pouvant être absorbée  $F_{b0,Rd}$  peut être déterminée comme suit :

$$F_{b,Rd} = F_{b0,Rd} = b_f \cdot \sqrt{2 \cdot G_{Fad} \cdot E_{fd} \cdot t_f} \quad \text{si} \quad l_{bd} \geq l_{b0d} \quad (44)$$

pour  $l_{bd} \leq l_{b0d}$  l'équation () s'applique.

- 4.4.2.2 La valeur de dimensionnement de la longueur d'ancrage active  $l_{b0d}$  des armatures collées sur l'acier, peut être déterminée par la relation suivante:

$$l_{b0d} = 2,5 \cdot \sqrt{\frac{G_{Fad} \cdot E_{fd} \cdot t_f}{\tau_{a,max,d}^2}} \quad (165)$$

- 4.4.2.3 La valeur de dimensionnement de l'énergie de rupture spécifique  $G_{Fad}$  pour les charges statiques dépend donc des propriétés mécaniques et géométriques de la colle:

$$G_{Fad} = \frac{\eta_u \cdot \eta_l \cdot 243 t_a^{0.4} D_{ak}^{1.7}}{\gamma_M} \quad G_{Fad} \text{ en N/mm}, D_{ak} \text{ en N/mm}^2, t_a \text{ en mm} \quad (46)$$

$D_{ak}$  est l'énergie de déformation caractéristique, déterminée selon 3.3.2.2,  $\eta_u$  et  $\eta_l$  sont déterminées selon le tableau 2 et le

Tableau 3.  $G_{Fad}$  n'est valable que pour les colles qui suivent la loi d'adhérence bilinéaire selon la figure 1.

- 4.4.2.4 La valeur de dimensionnement de la contrainte de cisaillement maximale pouvant être absorbée par la colle est de:

$$\tau_{a,max,d} = \eta_u \cdot \eta_l \cdot 0,9 \cdot \frac{f_{ak}}{\gamma_M} \quad f_{ak} \text{ en N/mm}^2 \quad (47)$$

- 4.4.2.5 Le comportement structural d'un ancrage collé sur du métal, pour lequel des colles à comportement trilineaire sont utilisées pour l'ancrage de forces plus importantes, doit être appréhendé à l'aide d'un modèle proche de la réalité. S'il n'existe pas de théorie adaptée au traitement du cas d'ancrage, il est recommandé de déterminer le comportement de l'ancrage par des essais.

#### 4.4.3 Flexion simple et flexion composée d'effort normal

- 4.4.3.1 Les armatures collées peuvent augmenter la rigidité des poutres en acier, ce qui peut améliorer leur stabilité.
- 4.4.3.2 De la même manière que dans la figure 3 pour les structures porteuses en béton, il est également recommandé de définir des zones d'ancrage et des zones fonctionnelles pour les structures porteuses en acier et d'effectuer le dimensionnement en conséquence. En l'absence d'autres études, les zones d'ancrage peuvent être définies dans les zones où, en raison des charges de dimensionnement, les allongements en traction sont inférieurs à 0,1‰.
- 4.4.3.3 Les résistances ultimes de l'élément de construction renforcé doivent être déterminées en tenant compte des propriétés connues de la structure porteuse. En particulier, il faut prendre en compte les pré-extensions dues à l'historique de la charge et à la charge au moment du renforcement.
- 4.4.3.4 Les contraintes de traction principales  $\sigma_{aI,II}$  dans la colle dues aux charges statiques peuvent être calculées par des méthodes analytiques ou numériques et doivent être vérifiées comme suit:

$$\sigma_{aI,II} \leq \frac{f_{ak}}{\gamma_M} \cdot \eta_u \cdot \eta_l \quad (48)$$

$f_{ak}$  est la résistance à la traction caractéristique de la colle et  $\eta_e$  et  $\eta_l$  sont déterminés selon tableau 1 et tableau 3.

#### 4.4.4 Barres tendues et comprimées

- 4.4.4.1 Lorsque des barres tendues ou comprimées endommagées sont renforcées, le renfort doit être conçu de telle sorte que la capacité de charge en traction ou en compression de la barre non endommagée soit à nouveau atteinte.
- 4.4.4.2 La barre endommagée doit pouvoir supporter au moins la moitié de l'effort de traction ou de compression, sinon il faut renoncer à un renforcement et remplacer la barre.

#### 4.4.5 Fatigue

- 4.4.5.1 Les conditions dans lesquelles une vérification de la fatigue doit être effectuée sont régies par les normes SIA 263 et SIA 269/3.
- 4.4.5.2 Une défaillance par fatigue des éléments de construction en acier renforcés par des armatures collées peut se produire dans l'acier, dans l'armature collée elle-même ou dans la liaison de l'armature collée avec la surface de l'acier.
- 4.4.5.3 La vérification de la fatigue de l'élément de construction en acier selon SIA 263 est généralement déterminant en cas de sollicitation à la fatigue d'éléments de construction en acier renforcés par des armatures collées.
- 4.4.5.4 La valeur de dimensionnement de la contrainte de traction maximale et de l'allongement à la rupture dans l'armature collée sous les charges de fatigue doit être déterminée conformément au chiffre 4.2.3.
- 4.4.5.5 Pour éviter la ruine de l'ancrage collé sous les charges de fatigue, l'effort d'ancrage résultant de la somme des charges statiques et des charges de fatigue maximales ne doit pas être supérieur à 50% de la résistance de l'ancrage  $F_{b0,Rd}$  maximale pouvant être absorbée selon l'équation (46). Pour les combinaisons de charges défavorables, se référer au chiffre 4.1.4.3.

#### 4.4.6 Incendie

Il convient de procéder comme indiqué au chiffre 2.4.2.7.

## **4.5 Vérification de la sécurité structurale des renforcements de structures porteuses existantes en bois**

### **4.5.1 Généralités**

- 4.5.1.1 Outre les exigences selon le chapitre 3 relatives aux matériaux de construction utilisés, il convient également de respecter les principes et les exigences générales pour les collages dans la construction en bois, tels que décrits dans les normes SIA 265, SIA 265/1 et SIA 269/5.
- 4.5.1.2 Les armatures collées ne peuvent être utilisées que pour les éléments de structure porteuse en bois appartenant aux classes d'humidité 1 et 2 selon SIA 265. Il convient d'utiliser les facteurs de réduction  $\eta$  selon le tableau 1.
- 4.5.1.3 Il faut tenir compte de l'influence des variations d'humidité du bois et des entraves, respectivement des fissures qui en résultent.
- 4.5.1.4 Il est possible d'augmenter ou de rétablir la résistance ultime des éléments de structure porteuse en bois au moyen d'armatures collées. Toutefois, les renforcements peuvent entraîner l'apparition précoce d'autres types de rupture.
- 4.5.1.5 Les applications les plus courantes des armatures collées pour augmenter ou rétablir la résistance ultime des éléments de structure porteuse en bois sont le renforcement des zones présentant localement des concentrations de contraintes défavorables, notamment en cas de traction perpendiculaire au sens des fibres et d'effort tranchant. A titre d'exemple figurent les percements dans les poutres, les poutres entaillées au niveau des appuis, les charges suspendues aux faces inférieures des poutres, les poutres à double décroissance et les poutres courbes.
- 4.5.1.6 La résistance ultime doit être déterminée selon SIA 265, SIA 265/1 et SIA 269/5. En outre, les types de rupture à prendre en compte sont la rupture d'adhérence, la rupture en traction ou en compression de l'armature collée ainsi que la rupture de l'ancrage d'extrémité de l'armature collée.
- 4.5.1.7 Le fluage des structures porteuses en bois peut induire un changement des sollicitations de l'armature collée en fonction du temps. Il convient d'en tenir compte lors du dimensionnement.
- 4.5.1.8 Les éventuels réductions de la section du bois au niveau du collage et de l'ancrage doivent être pris en compte lors du dimensionnement.
- 4.5.1.9 Des essais doivent être réalisés au préalable, tant pour l'étude du fluage que pour le dimensionnement de l'ancrage d'extrémité.

### **4.5.2 Ancrage collé sur la surface**

- 4.5.2.1 Pour le calcul de la résistance de l'ancrage sur le bois, on suppose que la ruine se produit lorsque la résistance au cisaillement et au fendage du bois est atteinte.
- 4.5.2.2 Le comportement structural d'un ancrage collé sur du bois doit être représenté par un modèle proche de la réalité. Une loi d'adhérence bilinéaire est recommandée. S'il n'existe pas de théorie adaptée au traitement du cas d'ancrage, le comportement de l'ancrage doit être déterminé par des essais.
- 4.5.2.3 Les ancrages mécaniques d'extrémité augmentent la résistance de l'ancrage. Si des éléments en acier sont utilisés, il faut tenir compte du chiffre 2.4.6. L'affaiblissement des éléments de structure porteuse en bois dans la zone d'ancrage par des perçages et autres doit être pris en compte dans le dimensionnement.

### **4.5.3 Ancrages collés dans les rainures**

- 4.5.3.1 Pour améliorer l'adhérence et/ou la résistance au feu, il peut être utile de placer les armatures collées dans des rainures similaires aux armatures pour rainures dans le béton (voir figure 2).
- 4.5.3.2 Les dimensions et les espacements des rainures doivent être choisis de manière à ce que les armatures collées deviennent déterminantes, c'est-à-dire que la rupture en traction survient dans l'armature collée et qu'il n'y ait pas de décollement des armatures collées du bois ou de décollement de la surface du bois comme dans le cas d'ancrages collés sur la surface. Le cas échéant, des essais doivent être effectués.

4.5.3.3 L'affaiblissement des éléments de structure porteuse en bois par la mise en place de rainures doit être pris en compte dans le dimensionnement.

#### 4.5.4 Flexion simple et flexion composée d'effort normal

4.5.4.1 De la même manière que dans la figure 3 pour les structures porteuses en béton, il est également recommandé de définir des zones d'ancrage et des zones fonctionnelles pour les structures porteuses en bois et d'effectuer le dimensionnement en conséquence. En l'absence d'autres études, les zones d'ancrage peuvent être définies dans les zones où, en raison des charges de dimensionnement, les allongements en traction sont inférieurs à 0,1‰.

4.5.4.2 Les poutres fléchies cèdent en général par un des mécanismes de défaillance suivants (voir toutefois 4.5.1.5):

- rupture du support dans la zone renforcée ou non renforcée,
- rupture de cisaillement dans le bois,
- défaillance en traction ou en compression de l'armature collée,
- rupture d'adhérence de l'armature collée,
- défaillance de l'ancrage d'extrémité de l'armature collée.

4.5.4.3 Les résistances ultimes de l'élément de construction renforcé doivent être déterminées en tenant compte des propriétés connues de la structure porteuse. En particulier, il faut prendre en compte les allongements préexistants dus à l'historique des charges et à la charge au moment du renforcement.

4.5.4.4 Pour réaliser une analyse des sections détaillée, il convient de partir des hypothèses suivantes :

- Les sections restent planes et perpendiculaires à l'axe de la barre.
- Conformément au chiffre 2.3.2.7, l'armature collée ne transmet que des forces de traction dans sa direction.
- Le comportement contrainte-allongement spécifique des matériaux de construction impliqués est pris en compte conformément au chapitre 3.

#### 4.5.5 Effort tranchant

4.5.5.1 Des exemples typiques de renforts à l'effort tranchant sont décrits au chiffre 4.5.1.5.

4.5.5.2 Les renforts à l'effort tranchant avec des armatures collées peuvent être réalisés avec des tissés ou des non-tissés en matériaux composites collés sur toute la surface du bois. Il faut veiller à un ancrage suffisant. Si les tissés ou non-tissés sont pliés autour d'angles, il faut veiller à ce que les rayons d'arrondi soient suffisamment grands. Le rayon d'arrondi ne doit pas être inférieur à 20 mm. Le cas échéant, il convient de procéder à des essais.

4.5.5.3 En alternative, les renforts à l'effort tranchant peuvent être constitués de barres en matériau composite collées dans des trous percés au préalable. Il faut veiller à ce que les armatures soient suffisamment ancrées aux extrémités. L'affaiblissement de l'élément de structure porteuse en bois par les trous percés doit être pris en compte lors du dimensionnement de l'élément de construction.

#### 4.5.6 Incendie

Il convient de procéder comme indiqué au chiffre 2.4.2.7.

### 4.6 Vérification de la sécurité structurale des renforcements de structures porteuses existantes en maçonnerie

#### 4.6.1 Généralités

4.6.1.1 Les armatures collées ne peuvent être utilisées que pour les structures porteuses en maçonnerie non exposées aux intempéries et à l'intérieur. Il convient d'utiliser les facteurs de réduction  $\eta_e$  selon le tableau 1.

4.6.1.2 Si la maçonnerie est soumise à une traction (directe ou indirecte par flexion ou cisaillement), des forces de traction peuvent être attribuées à l'armature collée.

4.6.1.3 Les méthodes de calcul de la maçonnerie selon SIA 266 et SIA 266/2 doivent être appliquées. Pour la maçonnerie armée, les méthodes de calcul du béton armé selon SIA 262 doivent être appliquées par analogie, en tenant compte des caractéristiques des matériaux de construction selon SIA 266 et SIA 266/2.

- 4.6.1.4 Il est possible de construire un état d'équilibre avec des champs de contraintes.
- 4.6.1.5 Les tissés et non-tissés appliqués sur toute la surface de la maçonnerie favorisent un comportement à la rupture ductile en cas de sollicitations cycliques et répartissent uniformément les éventuelles fissures.
- 4.6.1.6 Les forces de traction et de précontrainte importantes doivent être ancrées dans des éléments porteurs en béton ou en acier au moyen d'ancrages d'extrémité mécaniques.
- 4.6.1.7 Si l'on s'attend à de grandes déformations des fissures par cisaillement (parallèles à l'ouverture de la fissure), la résistance à la traction de l'armature collée doit être réduite afin de tenir compte de la faible résistance au cisaillement orthogonale aux fibres.
- 4.6.1.8 Les mortiers de réparation peuvent être utilisés pour reprofiler les zones d'éclatement, notamment dans le cas des pierres naturelles. Si la maçonnerie est endommagée ou en mauvais état, il convient de prévoir des injections de mortier ou de résine afin de rétablir le comportement monolithique.
- 4.6.1.9 Pour les renforcements d'ouvrages classés comme monuments historiques, il faut prévoir, si possible, des renforcements démontables.
- 4.6.2 **Ancrage collé sur la surface**
- 4.6.2.1 Les armatures collées sur maçonnerie doivent, si possible, être ancrées dans des éléments porteurs en béton ou en acier adjacents. Si l'ancrage dans la maçonnerie est inévitable, les chiffres 4.6.2.2 et 4.6.2.3 doivent être respectés.
- 4.6.2.2 L'ancrage doit être conçu de manière à ce que la force d'ancrage puisse être transmise à la maçonnerie principalement sous forme sur compression. Les contraintes de compression à l'interface colle/maçonnerie doivent être limitées à la résistance à la compression de la pierre dans la direction de la force correspondante.
- 4.6.2.3 La résistance à la compression  $f_b$  (perpendiculaire au joint d'assise) est indiquée dans les normes SIA 266 et SIA 269/6-2. Pour déterminer la résistance à la compression de la pierre parallèlement au joint d'assise, il faut éventuellement procéder à des essais.
- 4.6.2.4 Les joints d'assise et verticaux peuvent transmettre des contraintes de compression, mais pas de contrainte de traction. Les joints d'assise peuvent en outre transmettre des contraintes tangentielles en fonction de l'effort normal, voir à ce sujet les indications de la norme SIA 266.
- 4.6.2.5 Pour le calcul de la résistance de l'ancrage sur la maçonnerie, on suppose que la ruine se produit en atteignant la contrainte de cisaillement d'adhérence maximale à la surface de la maçonnerie. L'application de la loi d'adhérence bilinéaire selon la **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** 1 est recommandée. Les valeurs caractéristiques de la contrainte de cisaillement pouvant être absorbée et l'énergie de rupture spécifique doivent être déterminées par des essais sur la maçonnerie à renforcer.
- 4.6.3 **Flexion simple et flexion composée d'effort normal**
- 4.6.3.1 En cas de sollicitations de la maçonnerie à l'effort normal centré ou excentré, les armatures collées peuvent réduire le comportement à la rupture fragile. La vérification de la sécurité structurale en cas de sollicitation à l'effort normal doit être apportée selon la théorie du 2<sup>e</sup> ordre selon SIA 266. Pour cela, il faut déterminer les déformations du mur sur la base de la relation entre le moment de flexion et la courbure, en tenant compte de l'influence de l'armature collée sur la formation de fissures dans la maçonnerie.
- 4.6.3.2 Si la maçonnerie est sollicitée en flexion, des forces de traction peuvent être attribuées à l'armature collée.
- 4.6.4 **Charge transversale**
- La résistance ultime transversale au plan du mur est déjà améliorée par de faibles taux d'armature. De même, la capacité de déformation et la dissipation d'énergie sont augmentées. La résistance à la flexion peut être déterminée à partir de l'équilibre des efforts internes et externes et de la compatibilité de dilatation dans la section, la rupture étant supposée dans la maçonnerie. Il convient d'éviter le décollement ou la défaillance de l'armature collée.
- 4.6.5 **Contrainte de cisaillement avec effort normal centré et excentré**
- 4.6.5.1 Les sollicitations de cisaillement avec un effort normal centré et excentré peuvent être contrôlées par des champs de contraintes superposés selon SIA 266 et SIA 266/2. Pour les renforcements passifs ou

précontraints, il convient d'utiliser des modèles de treillis simplifiés. Pour la barre tendue du treillis, la résistance est limitée à l'endroit de l'ancrage.

- 4.6.5.2 Pour les voiles de maçonnerie sollicités dans le plan, les armatures collées ont pour objectif premier de garantir leur intégrité même en cas de charges élevées et/ou cycliques et de grandes déformations. En outre, on s'attend à une augmentation de la résistance à la fissuration et de la résistance ultime.

#### 4.6.6 **Fixations mécaniques**

Les fixations mécaniques servent à relier les joints par adhérence et à fermer les fissures. Les applications possibles des fixations mécaniques sont décrites dans la norme SIA 269/2.

#### 4.6.7 **Séisme**

- 4.6.7.1 Les coefficients de comportement de la norme SIA 266 s'appliquent à la maçonnerie.
- 4.6.7.2 Lors du renforcement parasismique des murs en maçonnerie, il faut veiller à augmenter la capacité de déformation et la dissipation d'énergie de la maçonnerie tout en préservant l'intégrité du mur. L'augmentation de la résistance n'est pas prioritaire.
- 4.6.7.3 Les renforcements parasismiques des murs en maçonnerie peuvent améliorer la capacité de déformation dans le plan du mur. Pour les maçonneries présentant une capacité de déformation accrue (maçonneries selon SIA 266:2015, chiffre 4.7.2), il convient d'éviter le décollement ou la défaillance de l'armature collée.

#### 4.6.8 **Incendie**

Il convient de procéder comme indiqué au chiffre 2.4.2.7.

## 4.7 Vérification de l'aptitude au service

### 4.7.1 Concept

L'aptitude au service est considérée comme prouvée lorsque la condition suivante est remplie:

$$E_d \leq C_d \quad (49)$$

$E_d$  valeur de dimensionnement de l'effet de l'action, avec  $\gamma_F = 1,0$  (niveau de service)

$C_d$  limite de service correspondante

### 4.7.2 Détermination des efforts internes et des contraintes

4.7.2.1 La valeur de dimensionnement de l'effet d'une action  $E_d$  doit être déterminée séparément pour les actions se produisant avant et après l'application de l'armature collée.

4.7.2.2 Les influences possibles du comportement à long terme des matériaux de construction et des systèmes utilisés sur l'aptitude au service doivent être évaluées.

### 4.7.3 Structures porteuses en béton

4.7.3.1 Les contraintes  $\sigma_s$  régnant à l'état de service dans les armatures intérieures de la structure porteuse en béton renforcée sous les charges de service doivent satisfaire aux exigences de la fissuration (exigences normales, accrues ou élevées) conformément à la norme SIA 269/2.

4.7.3.2 Afin d'éviter l'écoulement de l'armature d'acier intérieure sous les charges de service, les contraintes  $\sigma_s$  sont en outre limitées à:

$$\sigma_s \leq 0,9 \cdot f_{sk} \quad (50)$$

4.7.3.3 Si la sollicitation est causée par une déformation imposée, on a

$$\sigma_s \leq f_{sk} \quad (17)$$

4.7.3.4 A cause de l'armature collée, l'augmentation de la rigidité de section est inférieure à l'augmentation de la résistance ultime. Les déformations peuvent donc être déterminantes et doivent être vérifiées en conséquence.

4.7.3.5 Le calcul des déformations d'éléments en béton fissurés, principalement sollicités en flexion, peut être effectué par analogie, comme indiqué dans la norme SIA 262 pour les éléments en béton non renforcés. Pour le calcul des taux d'armature moyens, il convient d'utiliser la somme pondérée des sections des différentes armatures, comme indiqué dans l'équation (52). La hauteur statique  $d$  correspond à la distance entre le bord comprimé et le centre de gravité pondéré des différentes armatures. La pondération résulte du rapport des modules d'élasticité  $E_f / E_s$ .

$$\rho \leq \frac{A_s + A_f \frac{E_f}{E_s}}{b_{eff} \cdot d} \quad (52)$$

4.7.3.6 Le calcul de l'ouverture des fissures des éléments de construction en béton, renforcés par une armature collée et principalement sollicités en flexion, peut être effectué par analogie avec la méthode décrite dans la norme SIA 262.

4.7.3.7 Les armatures collées précontraintes peuvent être utilisées pour réduire l'ouverture des fissures et les déformations.

### 4.7.4 Structures porteuses en acier

4.7.4.1 Les armatures collées dans les structures porteuses en acier peuvent réduire les forces de traction dans les conditions de service.

4.7.4.2 L'aptitude au service des structures porteuses en acier renforcées par des armatures collées doit être prouvée selon SIA 263 et SIA 269/3.

**4.7.5 Structures porteuses en bois**

4.7.5.1 Les armatures collées peuvent être utilisées pour les structures porteuses en bois afin d'améliorer leur aptitude au service, c'est-à-dire de réduire les flèches et d'améliorer le comportement vibratoire.

4.7.5.2 L'aptitude au service des structures porteuses en bois renforcées par des armatures collées doit être prouvée selon SIA 265, SIA 265/1 et SIA 269/5.

**4.7.6 Structures porteuses en maçonnerie**

L'aptitude au service des structures porteuses en maçonnerie renforcées par des armatures collées doit être prouvée selon SIA 266.

## 5 CONCEPTION CONSTRUCTIVE

### 5.1 Principes

- 5.1.1 Les règles de conception décrites au chapitre 5 s'appliquent en premier lieu au renforcement des structures porteuses en béton. Elles doivent être adaptées par analogie aux supports en acier, en bois et en maçonnerie.
- 5.1.2 Le modèle structural doit être conçu constructivement de manière à ce que la disposition et l'ancrage des armatures collées correspondent au modèle de calcul.
- 5.1.3 La conception constructive de l'armature collée doit tenir compte des conditions cadre du montage.
- 5.1.4 Par principe les contraintes de traction perpendiculaires au joint de colle doivent être évitées. Pour les aires concaves ou les goussets, des mesures appropriées doivent être prises (par ex. goujonage).
- 5.1.5 Il convient de veiller à ce que les forces ne soient pas déviées involontairement par des irrégularités du support.

### 5.2 Disposition spatiale de l'armature collée

- 5.2.1 Afin de garantir un fonctionnement conforme au modèle à l'état-limite de la sécurité structurale et un collage dans les règles de l'art, les dimensions maximales respectivement minimales suivantes sont recommandées pour les lamelles.

Tableau 6 Dimensions maximales et minimales recommandées pour les lamelles

|                    | Lamelle en acier | Lamelles en matériau composite |
|--------------------|------------------|--------------------------------|
| Epaisseur minimale | 5 mm             | 1 mm                           |
| Epaisseur maximale | 15 mm            | 3 mm                           |
| Largeur maximale   | 200 mm           | 150 mm                         |

- 5.2.2 La distance minimale entre lamelles voisines doit être choisie de manière à ce que la colle puisse déborder latéralement lors du montage.
- 5.2.3 Les renforts à l'effort tranchant doivent être conçus de manière à entourer l'armature de traction. La transmission de la force d'étrier dans la zone comprimée fléchie doit être assurée.
- 5.2.4 Les jointures de lamelles dans les zones fonctionnelles sont à éviter, car leur capacité portante est nettement plus faible que lorsque les lamelles sont traversantes. Si les joints ne peuvent être évités, les lamelles doivent être disposées les unes à côté des autres et leur longueur et leur capacité portante doivent être conformes aux prescriptions pour l'ancrage d'extrémité selon 4.3.2. et 4.3.3 (béton) et 4.4 (acier).
- 5.2.5 Les jointures de lamelles ne sont pas autorisées pour les armatures collées destinées au renforcement des murs contre les séismes.
- 5.2.6 Les jointures, c'est-à-dire les chevauchements, des tissés et non-tissés utilisés pour le renfort à l'effort tranchant des structures porteuses en béton armé ne doivent pas être placées dans la zone de l'âme (lieu de l'effort principal), mais doivent être placées sur la face inférieure et/ou supérieure de la poutre. La longueur et la capacité portante sont déterminées selon 4.3.5.
- 5.2.7 Les tissés et non-tissés, utilisés pour le confinement des éléments comprimés ronds, doivent présenter une jointure, c'est-à-dire un chevauchement, d'au moins 150 mm de longueur. Pour les éléments comprimés rectangulaires, les jointures doivent être placées au milieu de la face longue. La longueur et la capacité portante sont déterminées par les indications du chevauchement selon 5.2.8.
- 5.2.8 Des essais doivent être effectués pour déterminer la longueur nécessaire et la capacité de charge des jointures, c'est-à-dire des chevauchements, de lamelles, de tissés et de non-tissés superposés.
- 5.2.9 Si les dalles en béton armé sont renforcées par des lamelles en acier, celles-ci doivent être disposées principalement dans la zone de l'effet porteur principal.

- 5.2.10 En cas de croisement de lamelles, les mesures suivantes peuvent être prises :
- Fraisage du support pour la première couche de lamelles.
  - Doubler le support pour la deuxième couche de lamelles (reprofilage ou application d'une quantité supplémentaire de colle). L'épaisseur maximale de la colle pour ces applications ne doit pas dépasser 5 mm.
  - La combinaison d'une première couche de lamelles en matériaux composites et d'une deuxième couche de lamelles en acier.
  - L'utilisation de tissés et de non-tissés.
- 5.2.11 Il faut éviter d'utiliser plusieurs couches de lamelles pour le renfort à la flexion, car leur effet porteur est trop peu connu. Si, dans des cas exceptionnels, deux couches de lamelles sont utilisées pour le renfort à la flexion, l'épaisseur maximale totale selon 5.2.1 doit être respectée. Pour les vérifications des renforts à la flexion selon 4.3.4, il faut utiliser pour  $t$  l'épaisseur totale des deux couches superposées.
- 5.2.12 Le nombre maximal de couches pour les tissés et les non-tissés doit être limité à huit.
- 5.2.13 En cas de lamelles pour rainures destinées au renforcement de structures porteuses en béton, les règles de construction selon 4.3.3 doivent être respectées.

### 5.3 Mesures de protection constructives

- 5.3.1 Les mesures constructives servent entre autres à protéger les lamelles de l'eau et de l'humidité, du rayonnement solaire direct et des effets de la température ainsi que des dommages intentionnels, par négligence ou par ignorance.
- 5.3.2 L'eau peut être tenue à l'écart des armatures collées sur les sous-faces par des barrières contre les liquides, telles que des gouttes pendantes, des entailles fraisées et des dispositifs similaires.
- 5.3.3 Pour les lamelles en acier sur des aires verticales, l'eau stagnante peut être évitée en chanfreinant la surface de la lamelle en acier.
- 5.3.4 Les protections de surface protègent contre l'ensoleillement direct et les dommages intentionnels, mais seulement de manière limitée contre les effets de l'incendie.
- 5.3.5 Les revêtements à base de ciment combinés avec une couche d'accrochage peuvent être utilisés comme protection contre les effets de la température, des rayons UV et des contraintes liées à l'utilisation.
- 5.3.6 Les lamelles en acier doivent être protégées contre la corrosion par des enduits selon SN EN ISO 12944-2, en fonction du champ d'application et de la durée d'utilisation. Sur la face de collage, le primer doit assurer à lui seul cette fonction. Sur la face de collage des lamelles en acier, l'application d'un apprêt à la poussière de zinc n'est pas recommandée.
- 5.3.7 Les peintures claires peuvent limiter l'échauffement de l'armature collée en cas d'exposition directe au soleil.
- 5.3.8 Les inscriptions peuvent limiter les dégradations par négligence ou par ignorance, mais encourager les endommagements volontaires.

### 5.4 Mesures de protection contre l'incendie

- 5.4.1 La résistance au feu des éléments de construction renforcés par des armatures collées peut être augmentée par des mesures de protection incendie.
- 5.4.2 Les peintures ignifuges ne doivent pas être utilisées, car leurs températures initiales ne sont pas compatibles avec les matériaux composites.
- 5.4.3 Les mesures isolantes de protection contre l'incendie, telles que les plaques de protection incendie ou autres mesures de protection incendie similaires, doivent être conçues en fonction des températures de transition vitreuse  $T_g$  de la colle et de la matrice de l'armature collée, conformément aux principes énoncés au chiffre 2.4.2.3, et des déformations qui se produisent en cas d'incendie.
- 5.4.4 Indépendamment du concept de dimensionnement, les lamelles en acier doivent être sécurisées au niveau de la construction de manière à empêcher leur chute après une défaillance de la colle due à la chaleur (par ex. par des fixations à l'aide de chevilles à chaque extrémité de la lamelle).

## 6 EXECUTION

### 6.1 Généralités

- 6.1.1 Les règles d'exécution décrites au chapitre 6 s'appliquent en premier lieu au renforcement des structures porteuses en béton. Elles doivent être adaptées par analogie aux supports en acier, en bois et en maçonnerie.
- 6.1.2 L'armature collée, la surface à coller ainsi que les directions porteuses doivent être marquées de manière à exclure toute erreur lors de l'exécution.
- 6.1.3 Le transport et le stockage des armatures collées doivent être effectués de manière à éviter tout dommage dû aux intempéries, à la pollution ou aux influences mécaniques.

### 6.2 Evaluation et contrôle du support

- 6.2.1 Au début de l'exécution, il peut être nécessaire de procéder à un relevé d'état complémentaire et à une évaluation de l'évolution de l'état. Le relevé d'état s'effectue selon SIA 269/2 pour les structures porteuses en béton, selon SIA 269/3 pour les structures porteuses en acier, selon SIA 269/5 pour les structures porteuses en bois et selon SIA 269/6-2 pour les structures porteuses en maçonnerie.
- 6.2.2 L'étendue des essais et des contrôles du support doit être telle qu'elle permette une connaissance suffisante de sa qualité. Les endroits critiques, tels que les zones d'ancrage, doivent être examinés avec un soin particulier.
- 6.2.3 La validité des hypothèses retenues selon 2.1 et 4.3.2 doit être vérifiée avec des essais d'adhérence selon SN EN 1542. Le nombre d'essais doit être fixé dans le plan de contrôle.
- 6.2.4 Les essais d'arrachement pour déterminer la résistance à la traction du béton proche de la surface doivent être effectués selon la norme SN EN 1542. Au moins cinq essais doivent être réalisés. Toutes les valeurs individuelles doivent être supérieures à la valeur minimale de 1,5 N/mm<sup>2</sup> pour les lamelles, et à la valeur minimale de 1,0 N/mm<sup>2</sup> pour les tissés et les non-tissés.
- 6.2.5 La résistance à l'adhérence caractéristique  $f_{ctH,k}$  peut être déterminée à partir de la relation simplifiée  $f_{ctH,k} = 0,7 f_{ctH,m}$ .
- 6.2.6 Si l'on dispose d'au moins huit valeurs individuelles d'essais d'arrachement, il est également possible de déterminer la résistance à l'adhérence caractéristique  $f_{ctH,k}$  du béton proche de la surface à l'aide de la relation
- $$f_{ctH,k} = f_{ctH,m} - k_n \cdot s \quad (53)$$

Il convient de noter que cette évaluation suppose une distribution normale des valeurs individuelles.

$f_{ctH,m}$  et  $s$  désignent la valeur moyenne et l'écart-type de la résistance à l'adhérence du béton proche de la surface dans les essais d'arrachement. Le facteur fractile  $k_n$  peut être déterminé selon le tableau 7.

Tableau 7 Valeurs  $k_n$  à utiliser dans l'équation (54) avec  $n$  = nombre d'essais d'arrachement

| $n$   | 8    | 10   | 12   | 16   | 20   | 30   | $\infty$ |
|-------|------|------|------|------|------|------|----------|
| $k_n$ | 2,00 | 1,92 | 1,87 | 1,81 | 1,76 | 1,73 | 1,64     |

### 6.3 Préparation du support

#### 6.3.1 Support en béton

- 6.3.1.1 La surface du support doit être telle que la colle puisse l'épouser et y adhérer parfaitement.
- 6.3.1.2 Les résidus de graisse, d'huile et de salissures à la surface du support doivent être éliminés.
- 6.3.1.3 Pour éliminer la peau de ciment ainsi que les couches minérales non portantes, on dispose des procédés de ponçage, de sablage et de grenailage. Le choix du procédé dépend entre autres de la forme et de la taille de l'objet ainsi que des conditions environnantes.

- 6.3.1.4 L'élimination de la couche de ciment ainsi que des couches minérales non portantes doit être effectuée avec précaution afin d'éviter des dégradations microstructurales dans la zone proche de la surface du support. Pour contrôler ces travaux, il convient de procéder à des essais d'adhérence selon la norme SN EN 1542.
- 6.3.1.5 Des résidus de poussière respectivement de particules et de boues doivent être enlevés des pores et des creux du support (par exemple avec un aspirateur industriel).
- 6.3.1.6 La teneur maximale en humidité dans les 10 premiers mm du support doit être inférieure à 4 % en masse, sauf si la colle utilisée autorise des valeurs plus élevées.
- 6.3.1.7 Un collage direct sur les armatures intérieures n'est pas permis.
- 6.3.1.8 Dans le cas de lamelles en acier rigides, les irrégularités du support peuvent entraîner des défauts de collage. En raison de leur faible rigidité propre, les lamelles, tissés et non-tissés en matériaux composites suivent aussi les surfaces courbes et exercent des forces de déviation en cas de contrainte de traction.
- 6.3.1.9 Les écarts suivants par rapport à la planéité du support ne doivent pas être dépassés (pointages sous une latte de longueur correspondante) :
- 5 mm sur une longueur de 2000 mm,
  - 1 mm sur une longueur de 300 mm.
- 6.3.1.10 Si la planéité requise du support ne peut pas être obtenue par décapage, il faut prévoir des couches d'égalisation compatibles garantissant une parfaite transmission des forces.
- 6.3.1.11 Les arêtes vives qui seront recouvertes de colle doivent être préparées de manière à ce que les rayons minimaux des armatures collées, spécifiés par les producteurs, soient respectés.
- 6.3.1.12 Si les tissés et non-tissés en matériau composite sont pliés autour d'angles, ceux-ci doivent être arrondis et un rayon minimal de 25 mm doit être respecté. Les rayons minimaux admissibles pour les lamelles sont indiqués dans les spécifications de produit.
- 6.3.1.13 Les mortiers de réparation selon 3.8.1 peuvent être utilisés pour le reprofilage de zones d'éclatements, de cavités et de petits creux. L'adhérence du mortier de réparation au support peut être vérifiée par des essais d'adhérence selon SN EN 1542.
- 6.3.1.14 La rugosité de la surface du mortier de réparation doit permettre à la colle d'épouser la surface du support.
- 6.3.1.15 Le préparation du support et la cure du mortier de réparation doivent être planifiés et exécutés conforme au système. Les résidus de boues et autres salissures sur les surfaces de reprofilage doivent être éliminés. Les ponts d'adhérence doivent être réalisés selon les indications du fournisseur du système. Les délais d'attente liés au système doivent être respectés avant l'exécution des étapes suivantes de travail.
- 6.3.1.16 L'humidité résiduelle du mortier de réparation doit être inférieure à 4 % en masse, sauf si la colle utilisée autorise des valeurs plus élevées.
- 6.3.1.17 Le mortier de réparation et la colle doivent être adaptés l'un à l'autre.

### 6.3.2 Support en acier

- 6.3.2.1 La surface du support en acier à coller doit être nettoyée, avec un degré de préparation de surface Sa 21/2 selon SN EN ISO 12944-4.
- 6.3.2.2 Immédiatement après le nettoyage, la surface doit être protégée avec un primer adapté à la colle et à la surface de l'acier en termes d'adhérence et de comportement thermique.
- 6.3.2.3 La résistance à l'adhérence du primer utilisé sur la surface du support en acier et de la colle sur le primer doit être suffisamment élevée pour garantir que la défaillance se produise dans la colle.

### 6.3.3 Support en bois

- 6.3.3.1 L'état de la surface du bois doit être examiné au préalable. Il faut s'assurer qu'il n'y ait pas par exemple de champignons, de trous de vers ou de fissures. Toutes les parties infestées doivent être enlevées au préalable.
- 6.3.3.2 Les résidus de graisse, d'huile et de salissures à la surface du support doivent être éliminés.
- 6.3.3.3 Le traitement de la surface du bois dépend de la colle utilisée. Il convient de respecter les indications du fabricant de la colle.

#### 6.3.4 Support en maçonnerie

- 6.3.4.1 L'état de la surface de la maçonnerie doit être contrôlé au préalable. Tous les éléments de maçonnerie détachés ou endommagés doivent être enlevés.
- 6.3.4.2 Les résidus de graisse, d'huile et de salissures à la surface du support doivent être éliminés.
- 6.3.4.3 Pour la préparation de la surface de la maçonnerie avant l'application de l'armature collée, les méthodes de ponçage ou de sablage sont possibles. Le choix du procédé dépend entre autres de la forme et de la taille de l'objet ainsi que des conditions environnantes.
- 6.3.4.4 Les mortiers de réparation selon 3.8.1 peuvent être utilisés pour le reprofilage de zones d'éclatements, de cavités et de petits creux. L'adhérence du mortier de réparation au support peut être vérifiée par des essais d'adhérence selon SN EN 1542. Il convient en outre d'observer les chiffres 6.3.1.14 à 6.3.1.17.

### 6.4 Montage

#### 6.4.1 Personnel

- 6.4.1.1 Entreprise exécutante doit disposer d'un responsable qualifié. Celui-ci doit être présent durant tous les travaux qui exercent une influence sur la qualité finale.
- 6.4.1.2 Le personnel spécialisé et auxiliaire doit disposer d'une formation et d'une expérience suffisantes dans la mise en œuvre des armatures collées.

#### 6.4.2 Protection du lieu de travail

- 6.4.2.1 Le lieu de travail doit être protégé des influences extérieures, susceptibles de nuire à la qualité, telles que l'humidité, la poussière, la chaleur, le froid, les courants d'air, les secousses, etc.
- 6.4.2.2 La mise en charge de la zone renforcée ne peut pas avoir lieu avant que la colle ait atteint sa résistance nominale, et certainement pas avant 48 heures.

#### 6.4.3 Conditions climatiques

- 6.4.3.1 Des mesures appropriées doivent être prises pour garantir que la température minimale et maximale de mise en œuvre de la colle soit maintenue dans l'armature collée, dans la colle et dans le support adjacent pendant toute la durée de durcissement.
- 6.4.3.2 La température de la surface des lamelles et du support doit être supérieure d'au moins 3°C au point de rosée et doit être contrôlée à intervalles réguliers tout au long de la journée. Il est recommandé de stocker l'armature collée sur le lieu de montage.
- 6.4.3.3 En cas de conditions inappropriées pendant les travaux et s'il n'est pas garanti que des conditions appropriées règnent pendant le temps de durcissement, aucun travail de collage ne doit être effectué.
- 6.4.3.4 Les valeurs suivantes doivent être mesurées et enregistrées au moins deux fois par jour avant et pendant l'application et le temps de durcissement :
  - température et humidité du support,
  - température de l'air dans la zone de travail,
  - humidité relative de l'air,
  - point de rosée.

#### 6.4.4 Préparation de l'armature collée

La surface de collage des lamelles doit être nettoyée avant le collage. Elle doit être exempte de graisse, d'huile et de salissures.

#### 6.4.5 Mélange de la colle

Si seules des parties de fûts d'emballage sont mélangées, les conditions suivantes doivent être respectées :

- peser les composants effectifs du mélange à l'aide d'une balance étalonnée, en tenant compte des pertes lors du transvasement,
- respecter les proportions du mélange avec une tolérance selon la fiche technique du produit,
- consigner les pesées effectuées,

- déterminer la résistance à la traction par flexion et la résistance à la compression sur cube,
- consigner le lieu de mise en place de chaque mélange.

#### 6.4.6 Montage de l'armature collée

- 6.4.6.1 Pour obtenir une surface de collage entièrement couverte, la colle doit être appliquée de manière à ne pas emprisonner de bulles d'air. Le garnissage complet de la surface de collage peut être contrôlé en observant la colle qui déborde latéralement.
- 6.4.6.2 Il est nécessaire d'exercer une pression lors de la mise en place de l'armature collée. Dans le cas des lamelles en acier, celle-ci doit être maintenue jusqu'à ce que la colle ait durci. Pour les lamelles en matériaux composites, une seule pression avec un rouleau en caoutchouc dur suffit généralement.
- 6.4.6.3 L'épaisseur régulière de la couche de colle est obtenue en faisant déborder la colle des deux côtés de la lamelle lors de l'opération de pressage (voir 5.2.2).

### 6.5 Contrôle de qualité

- 6.5.1 Les bases de la gestion de qualité sont constituées par le cahier technique SIA 2007. Les points suivants doivent être réglés dans la convention de gestion de la qualité :
  - l'étendue, la fréquence et le lieu des essais requis,
  - des directives pour leur enregistrement,
  - les exigences relatives au support,
  - les mesures à prendre si les propriétés exigées ne sont pas atteintes,
  - l'attribution des responsabilités.

6.5.2 Les hypothèses retenues dans le dimensionnement et les exigences définies dans la convention de gestion de qualité doivent concorder.

6.5.3 Le projet définit les qualifications que les entreprises doivent posséder pour être chargées des travaux prévus. Les entreprises doivent entretenir un système d'assurance qualité qui règle en particulier l'acquisition et la maintenance des connaissances spécialisées et la garantie des essais exigés.

6.5.4 L'appel d'offres et l'adjudication doivent être effectués dans des délais permettant un traitement irréprochable des offres et la possibilité de définir les procédures à appliquer dans le cadre de négociations techniques avant l'adjudication.

#### 6.5.1 Contrôle de la colle

Si les composants de la colle sont pesés sur le chantier, des contrôles de qualité doivent être prescrits dans les plans d'essai et de contrôle. Pour tous les autres cas, il est recommandé d'ordonner des contrôles ponctuels lors de travaux importants.

#### 6.5.2 Contrôle de la surface de collage

Après le durcissement de la colle, il faut contrôler l'absence de cavités en tapotant.

#### 6.5.3 Contrôle des propriétés du collage

La qualité de l'adhérence des armatures collées sur le support en béton peut être déterminée selon 4.3.2.7 et par analogie pour les supports en acier, en bois et en maçonnerie. Comme ces essais sont destructifs, ils doivent être planifiés au préalable.

### 6.6 Protection contre les substances agressives

- 6.6.1 Pour le renforcement des structures porteuses avec des éléments collés, on utilise des colles et des solvants qui peuvent avoir des effets nocifs sur les personnes et l'environnement avant et pendant les travaux. Toutes les personnes impliquées dans la mise en œuvre de ces substances doivent connaître et respecter les fiches de données de sécurité correspondantes. Les emballages des produits comportent des instructions pour le stockage, le transport et l'utilisation du contenu. Ces instructions ainsi que les lois et règlements sur lesquels elles reposent doivent être respectées.

- 6.6.2 Lors de la manipulation de colles et de solvants, il faut éviter tout contact cutané avec les substances liquides, les gaz et les vapeurs ainsi que les substances solides (poussière). A cet effet, il convient de porter des gants de protection étanches ainsi que des survêtements régulièrement nettoyés. Lors de travaux au-dessus de la tête, il faut porter un couvre-chef. Les parties du corps qui restent libres peuvent être traitées avec une crème de protection de la peau, qui doit être appliquée avant le début du travail et après chaque lavage.
- 6.6.3 Lorsque l'on travaille avec des colles et des solvants, il faut éviter tout contact de ces substances avec les yeux. Il faut toujours porter des lunettes de protection, même lors du nettoyage des outils.
- 6.6.4 L'inhalation de vapeurs et de poussières doit être évitée. Les cloches d'aspiration doivent être installées aussi près que possible des sources de vapeurs ou de poussières. Si cela n'est pas possible, des masques respiratoires doivent être portés. Les récipients de résine, de durcisseur, de détergent et de solvant doivent être refermés immédiatement après usage.
- 6.6.5 L'ingestion de matières plastiques doit être évitée. Dans les locaux où l'on travaille avec ces produits (locaux de travail, locaux de remplissage), il faut s'abstenir de fumer, de manger et de boire. Les mains doivent être soigneusement nettoyées avant chaque repas.

## **6.7 Surveillance et entretien**

- 6.7.1 Les armatures collées doivent être surveillées pendant la construction et pendant toute la durée d'utilisation.
- 6.7.2 Les éventuels travaux d'entretien réguliers nécessaires à la maintenance de l'armature collée doivent être consignés dans le plan d'entretien.
- 6.7.3 La remise en état d'une armature collée peut consister à la remplacer ou à la compléter.

## Annexe A (informative)

### Liste des termes

Tableau 8 Liste alphabétique des termes définis au chapitre 1

| Français                   | Allemand               | Chiffre |
|----------------------------|------------------------|---------|
| Armature collé             | Klebebewehrung         | 1.1.8   |
| Colle                      | Klebstoff              | 1.1.9   |
| Comportement à la rupture  | Bruchverhalten         | 1.1.3   |
| Confinement                | Umwicklung             | 1.1.15  |
| Enduit                     | Beschichtung           | 1.1.2   |
| Fibre                      | Faser                  | 1.1.4   |
| Interface                  | Schichtgrenze          | 1.1.14  |
| Jointure de lamelle        | Lamellenstoss          | 1.1.11  |
| Lamelle                    | Lamelle                | 1.1.10  |
| Longueur d'adhérence actif | Aktive Verbundlänge    | 1.1.1   |
| Longueur l'adhérence       | Verbundlänge           | 1.1.21  |
| Matériau composite         | Faserverbundwerkstoff  | 1.1.5   |
| Matrice                    | Matrix                 | 1.1.12  |
| Mode de ruine              | Versagensart           | 1.1.23  |
| Non-tissé                  | Gelege                 | 1.1.6   |
| Primer                     | Primer                 | 1.1.13  |
| Protection de surface      | Verkleidung            | 1.1.24  |
| Raidissement               | Versteifung            | 1.1.25  |
| Renforcement               | Verstärkung            | 1.1.26  |
| Résistance d'ancrage       | Verankerungswiderstand | 1.1.19  |
| Rupture d'adhérence        | Verbundversagen        | 1.1.22  |
| Rupture du renforcement    | Verstärkungsversagen   | 1.1.28  |
| Rupture du support         | Untergrundversagen     | 1.1.18  |
| Support                    | Untergrund             | 1.1.17  |
| Système de renforcement    | Verstärkungssystem     | 1.1.27  |
| Tissé                      | Gewebe                 | 1.1.7   |
| Unidirectionnel            | unidirektional         | 1.1.16  |
| Zone d'ancrage             | Verankerungszone       | 1.1.20  |
| Zone fonctionnelle         | Wirkungszone           | 1.1.29  |

---

Organisations représentées dans la commission SIA 262 et le groupe de travail SIA 166

|        |                                                           |
|--------|-----------------------------------------------------------|
| Empa   | Laboratoire fédéral d'essai des matériaux et de recherche |
| EPFL   | École Polytechnique Fédérale de Lausanne                  |
| ETH    | Eidgenössische Technische Hochschule Zürich               |
| OUFROU | Office fédéral des routes                                 |

**Commission SIA 262, Construction en béton**

|           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |                                                                                                                                                                                                                                                 |
|-----------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Président | Walter Kaufmann, Prof. Dr., dipl. Bau-Ing. ETH/SIA, Zurich                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | Représentant de<br>ETH Zurich                                                                                                                                                                                                                   |
| Membres   | Martin Bimschas, Dr. ETH, dipl. Bau-Ing. TU/SIA, Uster<br>Daniel Buschor, dipl. Bau-Ing. EPF/SIA, Berthoud<br>Stéphane Cuennet, dipl. ing HES, Berne<br>Christoph Czaderski, Dr., dipl. Bau-Ing. ETH/SIA, Dübendorf<br>Bernd Arnd Eberhard, Dr., dipl. Ing. TU, Würenlingen<br>Stephan Etter, Dr., dipl. Bau-Ing. ETH/SIA, Zurich<br>Hans-Rudolf Ganz, Dr., dipl. Bau-Ing. ETH/SIA, Bödingen<br>Aurelio Muttoni, Prof., Dr., ing. civil dipl. EPF/SIA, Lausanne<br>Sylvain Plumey, Dr., ing. civil dipl. EPF/SIA, Porrentruy<br>Miguel Fernández Ruiz, Prof. Dr., ing. civil dipl. EPF, Ecublens<br>Yves Schiegg, Dr., dipl. Bau-Ing. ETH/SIA, Wildegg<br>Andreas Schmidt; ing. civil dipl. EPF, Lausanne<br>Hans Seelhofer, Dr., dipl. Bau-Ing. ETH/SIA, Zurich<br>Kerstin Wassmann, dipl. Ing. TU, Würenlingen<br>Volker Wetzig, dipl. Ing. TU/SIA, Berne | Bureau d'études<br>Bureau d'études<br>OUFROU<br>Empa<br>Industrie<br>Bureau d'études<br>Bureau de conseils<br>EPFL<br>Bureau d'études<br>Bureau d'études<br>Laboratoire de matériaux<br>Entreprise<br>Bureau d'études<br>Industrie<br>Industrie |

**Groupe de travail SIA 166**

|            |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                                              |
|------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Présidence | Christoph Czaderski, Dr., dipl. Bau-Ing. ETH/SIA, Dübendorf                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | Empa                                                                                                         |
| Membres    | Matteo Breveglieri, Dr. dipl. Bau-Ing., Dübendorf<br>Yunus Harmanci, Dr., dipl. Bau-Ing. ETH, Ehrendingen<br>Martin Hüppi, dipl. Bau-Ing. HTL, Seewen<br>Nebojsa Mojsilovic, Dr. ETH, dipl. Bau-Ing. TU/SIA, Zurich<br>Robin Schaub, dipl. Bau-Ing. ETH, Berne<br>Markus Tellenbach, dipl. Bau-Ing. ZFH/SIA, Hinwil<br>Tomaz Ulaga, Dr., dipl. Bau-Ing. ETH, Bale | Empa<br>Bureau d'études<br>Industrie<br>ETH Zurich<br>Industrie<br>Industrie<br>Industrie<br>Bureau d'études |

Responsable                      Heike Mini, dipl. Bau-Ing. TU/SIA, Zurich  
Bureau SIA

**Adoption et validité**

La Commission centrale des normes de la SIA a adopté la présente norme SIA 166 le dd mmmm 20yy.

Il est valable dès le 1er mmmm 20yy.

Il remplace la prénorme SIA 166 Armatures collées, édition 2004.

Copyright © 2023 by SIA Zurich

Tous les droits de reproduction, même partielle, de copie intégrale ou partielle, d'enregistrement ainsi que de traduction sont réservés.