

Klebebewehrungen

Armature collate

Externally bonded reinforcement

Armatures collées

166

TABLE DES MATIÈRES

	Page		Page
Préambule	4	5 Matériaux	33
0 Domaine d'application	5	5.1 Système de renfort	33
0.1 Délimitation	5	5.2 Armature collée	33
0.2 Renvois à d'autres prescriptions	5	5.3 Colle	35
0.3 Conditions générales pour la construction	6	5.4 Matériaux auxiliaires	35
0.4 Dérogations	6	6 Exécution	36
1 Terminologie	7	6.1 Généralités	36
1.1 Termes généraux	7	6.2 Evaluations et essais du support	36
1.2 Termes spécifiques	7	6.3 Préparation du support	36
1.3 Notations	9	6.4 Montage	38
1.4 Modes de construction	11	7 Gestion de la qualité	39
2 Elaboration du projet	12	7.1 Généralités	39
2.1 Données de base	12	7.2 Planification de la qualité	39
2.2 Conception générale	12	7.3 Documentation de la gestion de la qualité propre au projet	39
2.3 Situations de risque	13	7.4 Conduite de la qualité sur le chantier ..	39
2.4 Analyse structurale et dimensionnement	14	8 Protection et sécurité	41
2.5 Cahier des charges et exécution	14	8.1 Généralités	41
2.6 Surveillance et maintenance	14	8.2 Protection contre les agents agressifs ..	41
2.7 Documents de construction	14	8.3 Protection contre les chutes	41
3 Analyse structurale et dimensionnement	15	8.4 Protection contre le bruit	41
3.1 Etats-limites ultimes	15	8.5 Protection des eaux	41
3.2 Etats-limites pour l'aptitude au service	29	Adoption et entrée en vigueur	44
3.3 Séisme	30		
4 Dispositions constructives	31		
4.1 Principes généraux	31		
4.2 Dimensions	31		
4.3 Ancrages et joints	31		
4.4 Croisement de lamelles	31		
4.5 Mesures constructives protectrices	32		
4.6 Mesures de protection contre l'incendie	32		

PRÉAMBULE

Les armatures collées en acier sont utilisées avec succès depuis plus de trente ans. Avec l'apparition des matériaux composites fibreux dès le milieu des années nonante, le domaine d'utilisation des armatures collées s'est encore élargi. Au vu du succès évident des nouvelles technologies, le cercle des utilisateurs s'étend maintenant bien au-delà de celui des premiers pionniers du système.

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. La structure existante est normalement déjà chargée, au moins par son poids propre; quant à l'historique des charges, il est rarement connu. C'est pourquoi les armatures collées ne reprennent qu'une partie des sollicitations survenant après leur mise en œuvre, à moins que par des mesures particulières (déchargement préalable, précontrainte) on ne parvienne à obtenir une collaboration plus poussée.

L'utilisation de matériaux non ductiles (matériaux composites fibreux) ainsi que de supports de collage à faible résistance à la traction (béton, maçonnerie, bois) fait que des ruptures fragiles ne peuvent pas être exclues. Les états de ruine trouvent donc souvent leur origine dans la structure existante et peuvent survenir sans grandes déformations préalables.

Le but de l'utilisation des armatures collées n'est pas toujours un renfort. Tout aussi importantes sont les améliorations de la ductilité par

- le confinement d'éléments comprimés pour obtenir des états de contraintes multiaxiaux;
- la reprise de tractions obliques et d'efforts tranchants.

Le groupe de travail 162-8 *Armatures collées* de la commission 162 *Ouvrages en béton* s'est fixé comme but la rédaction d'un document convivial démontrant les possibilités et les limites de la technologie et proposant des méthodes de calcul unifiées, permettant un échange d'expériences comparables sans entraver les développements ultérieurs.

La technique du collage ne se limitant pas au béton, son domaine de validité a été étendu à tous les matériaux de construction courants, ce qui est sensé trouver son reflet dans la dénomination «prénorme SIA 166».

La prénorme SIA 166 est déjà alignée sur les nouvelles normes de structures SIA 260 à 267 issues du projet SWISSCODES.

Groupe de travail SIA 162-8 *Armatures collées*

0 **DOMAINE D'APPLICATION**

0.1 **Délimitation**

- 0.1.1 Les armatures collées dans l'esprit de cette prénorme sont des armatures collées après coup à des parties de structures déjà existantes. On les utilise généralement dans le cadre de la maintenance des structures.
- 0.1.2 Les armatures collées sont à étudier, exécuter et entretenir selon les prescriptions pour les constructions neuves et la collection des normes SIA.
- 0.1.3 Les armatures collées sont aussi utilisées à titre provisoire pour les installations de chantier (échafaudages et barrières) ou pour le transport d'éléments de construction.
- 0.1.4 La présente prénorme s'applique au projet, à l'exécution et à la maintenance des armatures collées sur des supports quelconques.
- 0.1.5 Ne font pas l'objet de la présente prénorme:
- l'utilisation d'acier ou de matériaux fibreux collaborants comme armatures internes ou comme coffrage perdu d'éléments en béton;
 - l'utilisation d'acier ou de matériaux fibreux collaborants comme armatures internes ou incorporées par fraisage dans des éléments en bois;
 - l'utilisation de profilés d'acier collaborants par collage avec des dalles ou d'autres éléments en béton;
 - l'utilisation de la technique de collage comme liaison dans la construction en acier, en bois, la construction légère ou massive.

0.2 **Renvois à d'autres prescriptions**

Le texte de la présente prénorme contient des renvois aux publications suivantes:

Recommandation SIA 162/5	Conservation des structures en béton
Recommandation 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 262/1	Construction en béton – Spécifications complémentaires
Norme SIA 263	Construction en acier
Norme SIA 263/1	Construction en acier – Spécifications complémentaires
Norme SIA 264	Construction mixte acier-béton
Norme SIA 265	Construction en bois
Norme SIA 266	Maçonnerie
Norme SIA 469	Conservation des ouvrages
Cahier technique SIA 2007	La qualité dans la construction
Norme SN EN ISO 12944 parties 1 à 8	Matériaux de revêtement – Protection anticorrosion des structures en acier par systèmes de revêtement
DIN 1048 partie 2	«Prüfverfahren für Beton; Festbeton in Bauwerken und Bauteilen»
OPA	Ordonnance sur la prévention des accidents et des maladies professionnelles
OTConst	Ordonnance sur la sécurité et la protection de la santé des travailleuses et des travailleurs dans les travaux de construction

0.3 Conditions générales pour la construction

Les dispositions contractuelles spécifiques à la présente prénorme sont contenues dans les publications suivantes. Pour qu'elles soient valables il est nécessaire de les faire figurer dans le contrat.

SIA 118/262	Conditions générales pour la construction en béton
SIA 118/263	Conditions générales pour la construction en acier
SIA 118/265	Conditions générales pour la construction en bois
SIA 118/266	Conditions générales pour la construction en maçonnerie
SIA 118/267	Conditions générales pour la géotechnique

0.4 Dérogations

0.4.1 Des dérogations à la présente prénorme sont admissibles si elles sont suffisamment justifiées par des théories ou par des essais, ou si de nouveaux développements ou de nouvelles connaissances dans le domaine en question permettent une telle démarche.

0.4.2 Pour les circonstances exceptionnelles non prévues par la présente prénorme, ses prescriptions seront appliquées par analogie.

1 TERMINOLOGIE

1.1 Termes généraux

amélioration de la ductilité <i>Duktilitätsverbesserung</i> <i>improvement of ductility</i>	Augmentation de la capacité de déformation plastique d'un élément porteur.
armature <i>Bewehrung</i> <i>reinforcement</i>	Ensemble des éléments porteurs généralement linéaires à rigidité et résistance élevées liés à la structure pour la renforcer.
comportement à la rupture <i>Bruchverhalten</i> <i>failure behaviour</i>	Comportement d'une structure après atteinte de sa résistance ultime.
confinement <i>Umschnürung</i> <i>confinement</i>	Amélioration de la résistance à la compression en favorisant la formation d'un état de contrainte triaxial.
mode de ruine <i>Versagensart</i> <i>failure mode</i>	Description du processus conduisant à l'épuisement de la résistance ultime.
raidissement <i>Versteifung</i> <i>stiffening</i>	Augmentation de la rigidité (en général de flexion) d'une section ou d'un élément de construction.
renforcement <i>Verstärkung</i> <i>strengthening</i>	Amélioration de la résistance ultime et de l'aptitude au service d'une section, d'un élément de construction ou d'une structure.

1.2 Termes spécifiques

colle <i>Klebstoff</i> <i>adhesive</i>	Substance liquide ou visqueuse appliquée entre des pièces à assembler, permettant la transmission d'efforts après durcissement.
enduits <i>Beschichtung</i> <i>coating</i>	Couche de protection adhérente appliquée sous forme liquide en une ou plusieurs couches.
fibre <i>Faser</i> <i>fibre</i>	Matériau de renforcement filamenteux p.ex. carbone, graphite, aramide ou verre.
interface <i>Schichtgrenze</i> <i>interface</i>	Surface de contact entre la colle et la pièce collée.
lamelle <i>Lamelle (Lasche)</i> <i>plate</i>	Armature plate en acier ou en matériau composite formé de fibres unidirectionnelles.
matériau composite <i>Faserverbundwerkstoff</i> <i>fibre-reinforced polymer</i>	Combinaison de matériaux composée de fibres enrobées dans une matrice synthétique.

matrice <i>Matrix</i> <i>matrix</i>	Matière liant les fibres d'un matériau composite.
non-tissé <i>Gelege</i> <i>non-woven fabric</i>	Textile composé de faisceaux de fibres superposées dans une ou plusieurs directions et fixées aux points de croisement.
primer <i>Primer</i> <i>primer</i>	Couche primaire servant à protéger la surface et/ou à assurer une bonne liaison avec les couches suivantes ou la colle.
protection de surface <i>Verkleidung</i> <i>lining, cladding</i>	Couche de revêtement liée mécaniquement ou chimiquement.
rupture d'adhérence <i>Verbundversagen</i> <i>bond failure</i>	Rupture de l'adhérence entre le support et l'armature collée.
rupture du renforcement <i>Verstärkungsversagen</i> <i>strengthening failure</i>	Rupture de l'armature collée.
rupture du support <i>Untergrundversagen</i> <i>substrate failure</i>	Rupture du support ou de l'armature interne du support.
support <i>Untergrund</i> <i>substrate</i>	Surface d'un élément de structure à remettre en état ou à modifier, p.ex. en béton, en acier ou en bois.
système de renforcement <i>Verstärkungssystem</i> <i>strengthening system</i>	Système composé d'armature collée, de colle et le cas échéant d'ancrages et de mesures de protection.
tissé <i>Gewebe</i> <i>woven fabric</i>	Textile constitué de faisceaux de fibres assemblés par tissage dans plusieurs directions.
unidirectionnel <i>unidirektional</i> <i>unidirectional</i>	Toutes les fibres disposées dans une seule direction.
zone d'ancrage <i>Verankerungszone</i> <i>anchorage zone</i>	Zone d'introduction des forces à l'extrémité de l'élément de renfort, dans laquelle il n'y a pas de contribution au renforcement de l'élément de construction.
zone fonctionnelle <i>Wirkungszone</i> <i>functional area</i>	Zone d'un élément de construction comprise entre deux zones d'ancrage, dans laquelle l'armature collée exerce son renfort.

1.3 Notations

1.3.1 Majuscules latines

Champ d'application: grandeurs avec des dimensions

<i>A</i>	aire, aire d'une section, action exceptionnelle
<i>C</i>	limite d'utilisation, centre de gravité d'une surface
<i>E</i>	effet des actions, module d'élasticité
<i>F</i>	action, force (en général)
<i>G</i>	action permanente, énergie spécifique
<i>M</i>	moment de flexion
<i>P</i>	précontrainte, force de précontrainte
<i>Q</i>	action variable (charge ponctuelle)
<i>R</i>	résistance ultime (en général)
<i>S</i>	sollicitation, effort intérieur
<i>V</i>	effort tranchant
<i>X</i>	propriété du matériau

1.3.2 Minuscules latines

Champ d'application: principalement pour des grandeurs avec des dimensions

<i>a</i>	grandeurs géométriques en général
<i>b</i>	largeur (en général)
<i>d</i>	diamètre (en général), notation différentielle, hauteur statique
<i>f</i>	résistance du matériau
<i>l</i>	longueur (en général), portée
<i>q</i>	action variable répartie, facteur de comportement
<i>s</i>	espacement d'étriers, glissement
<i>t</i>	épaisseur (en général), épaisseur de l'élément
<i>x</i>	hauteur de la zone comprimée, coordonnée
<i>z</i>	bras de levier

1.3.3 Majuscules grecques

Δ	différence, écart
----------	-------------------

1.3.4 Minuscules grecques

Champ d'application: principalement pour des grandeurs sans dimension, des coefficients, des angles ou des contraintes

α	angle
γ	coefficient
ε	allongement spécifique
η	facteur de conversion
κ	indice de liaison
ρ	taux géométrique d'armature
σ	contrainte normale
τ	contrainte tangentielle
φ	angle
ψ	coefficient de réduction

1.3.5 Indices

Lorsqu'il y a plusieurs indices, une virgule facilite leur lecture (p.ex. $\varepsilon_{l,lim,d}$).

Les indices dont la désignation est clairement tirée de l'anglais sont donnés ci-dessous avec le terme d'origine entre parenthèses.

<i>b</i>	liaison ou ancrage (b ond), brique (b rick)
<i>c</i>	béton (c oncrete), compression (c ompression)
<i>d</i>	dimensionnement (d esign)
<i>F</i>	action (f orce), grandeur de mécanique de rupture
<i>f</i>	matériau composite (f ibre ...)
<i>G</i>	action permanente
<i>H</i>	traction d'adhérence (all. H aftzug)
<i>i</i>	i ^e valeur
<i>id</i>	virtuel
<i>inf</i>	dessous, inférieur (i nferior)
<i>k</i>	caractéristique
<i>l</i>	lamelle, non-tissé ou tissé considéré dans le sens des fibres
<i>lim</i>	valeur limite (l imit)
<i>M</i>	propriété combinée du matériau et modèle de résistance
<i>P</i>	précontrainte
<i>p</i>	primer
<i>pl</i>	plastique
<i>Q</i>	force concentrée variable
<i>q</i>	transversal
<i>R</i>	résistance, modèle de résistance (resistance)
<i>s</i>	acier (barre)
<i>ser</i>	en service (s ervice)
<i>sup</i>	dessus, supérieur (s uperior)
<i>t</i>	traction (t ension)
<i>u</i>	rupture, état de ruine (u ltimate)
<i>w</i>	étrier, âme (w eb)
0	indice, valeur de base, rare
1	indice, fréquent
2	quasi permanent
I	stade I (béton non fissuré)
II	stade II (béton fissuré)
III	stade III (béton fissuré et écoulement de l'armature intérieure)

1.3.6 Exposants

'	sollicité en compression
"	contrainte et allongement de l'armature dans une fissure
+	positif
-	négatif

1.4 Modes de construction

Pour les divers modes de construction ainsi que pour leurs combinaisons (construction mixte) concernés par la présente prénorme on utilise diverses notions pour le classement des matériaux. Le tableau 1 indique les désignations spécifiques aux modes de construction.

Tableau 1 Désignation des classes de matériaux selon les modes de construction

Mode de construction	Description	Matériau principal	Classe de matériau
Structures en béton <i>Betonbau</i> <i>Concrete structures</i>	Constructions en béton, béton armé et béton précontraint	Béton Acier à béton Acier de précontrainte	Classe de béton Nuance d'acier, forme du produit Nuance d'acier, diamètre
Structures en bois <i>Holzbau</i> <i>Timber structures</i>	Constructions en bois ou en dérivés du bois; utilisation de l'acier que pour assemblages et tirants, du béton que comme ballast	Bois massif Bois lamellé collé Dérivé du bois	Classe de résistance Classe de résistance Type de matériau
Structures en maçonnerie <i>Mauerwerksbau</i> <i>Masonry structures</i>	Constructions en maçonnerie	Maçonnerie	Type de maçonnerie
Structures en acier <i>Stahlbau</i> <i>Steel structures</i>	Constructions en tôles et profilés d'acier	Acier de construction Acier à boulons	Nuance d'acier, groupe de qualité, classe de résistance

2 ÉLABORATION DU PROJET

2.1 Données de base

- 2.1.1 La convention d'utilisation, la base du projet et les résultats des examens effectués sur la structure existante font partie des données de base.
- 2.1.2 L'examen des structures en béton est effectué selon la recommandation SIA 162/5, celui des autres types de structures par analogie.
- 2.1.3 L'examen de la structure existante fournit des informations sur:
- la construction dans son ensemble
 - l'élément de construction ou de structure à renforcer par armature collée.
- 2.1.4 Pour la *construction* dans son ensemble, l'examen doit fournir au moins les données suivantes:
- relevé et appréciation de l'état de la construction (y compris interprétation des documents de construction)
 - appréciation de la sécurité structurale
 - appréciation de l'aptitude au service
 - pronostic de l'évolution de l'état
 - prescription éventuelle de mesures urgentes
 - recommandations sur les suites à donner
 - données concernant les besoins des utilisateurs, la valeur de conservation et les conditions juridiques.
- 2.1.5 Pour *l'élément de construction ou de structure à renforcer* par armature collée l'examen doit fournir au moins les données suivantes:
- genre et étendue des éventuels défauts et dégâts
 - dimensions principales et détails de construction
 - valeurs actualisées de résistance des matériaux
 - état de déformation de l'élément de construction ou de la structure existante
 - système structural, résistance ultime et réserves disponibles
 - probabilité de rupture d'un élément ou de la structure
 - appréciation de la sécurité structurale et de l'aptitude au service
 - propriétés du support prévu pour le collage
 - conditions environnementales et de physique des constructions.

2.2 Conception générale

- 2.2.1 Avant de dimensionner une armature collée, on définira la conception générale du renforcement à partir des exigences d'utilisation actualisées.
- 2.2.2 La conception de l'armature collée:
- fixe la disposition relative des éléments porteurs et leur mode d'interaction;
 - indique les dimensions principales, les propriétés des matériaux et les détails de construction;
 - prend en compte les mesures constructives de protection notamment contre le feu en fonction des situations de risque;
 - décrit la méthode de construction envisagée.
- 2.2.3 Parallèlement à la conception, il faut éviter que la résistance ultime des éléments et des sections non renforcés de la construction puisse ne plus répondre aux nouvelles exigences d'utilisation.

2.3 Situations de risque

2.3.1 Les situations de risque pour l'ouvrage existant seront vérifiées et complétées en tenant compte du projet en cours d'étude. Les données de base nécessaires sont données dans les normes SIA 260 et SIA 469.

2.3.2 A chaque situation de risque des ouvrages comportant des armatures collées correspondent des états-limites de type 2 selon la norme SIA 260 (épuisement de la résistance ultime de la structure). Il y a lieu de distinguer deux types de situations de risque:

- situations de risque résultant de l'utilisation prévue;
- défaillance de l'armature collée considérée comme une situation de projet exceptionnelle.

2.3.3 Dans le cas des situations de risque résultant de l'utilisation prévue, la valeur de calcul de l'effet des actions E_d selon norme SIA 260 sera déterminée comme suit:

$$E_d = E (\gamma_G G_k, \gamma_P P_k, \gamma_{Q1} Q_{k1}, \psi_{0i} Q_{ki}, X_d, a_d) \quad (1)$$

γ_G	facteur de charge pour une action permanente
G_k	valeur caractéristique d'une action permanente
γ_P	facteur de charge pour l'action de la précontrainte
P_k	valeur caractéristique de la précontrainte
γ_{Q1}	facteurs de charge de l'action (variable) prépondérante
Q_{k1}	valeurs caractéristiques de l'action (variable) prépondérante
$\psi_{0i} Q_{ki}$	valeur rare de l'action variable concomitante i
X_d	valeur de calcul d'une propriété du matériau
a_d	valeur de calcul d'une grandeur géométrique

2.3.4 Pour les états-limites de type 4 selon norme SIA 260 (fatigue), la sécurité structurale relative à la défaillance des matériaux utilisés est vérifiée si le critère de dimensionnement suivant est rempli:

$$E_d \leq R_d \quad (2)$$

Les normes SIA 262 à 265 en relation avec la norme SIA 261 règlent la détermination de la valeur de fatigue des charges de service et fixent les résistances et les coefficients γ relatifs. On a peu d'expérience concernant la défaillance de la liaison par fatigue. Cette situation de risque est traitée au chiffre 2.3.6.

2.3.5 Des actions exceptionnelles et des situations critiques peuvent conduire à la défaillance de l'armature collée. De telles situations de risque proviennent p.ex. de:

- hautes températures (p.ex. incendie, ensoleillement, pose au chalumeau de feuilles d'étanchéité ou mise en place d'asphalte coulé)
- collisions
- actions chimiques
- dégâts dus à l'imprudence ou à la malveillance.

2.3.6 Pour la situation de risque *défaillance de l'armature collée*, la valeur de calcul de l'effet des actions E_d se calcule par analogie à la norme SIA 260 comme suit:

$$E_d = E (G_k, P_k, A_d, \psi_{2i} Q_{ki}, X_d, a_d) \quad (3)$$

G_k	valeur caractéristique d'une action permanente
P_k	valeur caractéristique de la précontrainte
A_d	valeur de calcul d'une action accidentelle, ici $A_d = 0$
$\psi_{2i} Q_{ki}$	valeur quasi permanente de l'action variable i combinée à une action accidentelle ou à la valeur fréquente de l'action (variable) prépondérante
X_d	valeur de calcul d'une propriété du matériau
a_d	valeur de calcul d'une grandeur géométrique

Au lieu de l'action accidentelle A_d , on introduit une réduction de résistance correspondant à l'apport de l'armature collée.

- 2.3.7 Selon la norme SIA 260 on peut parer à une défaillance exceptionnelle de l'armature collée par la preuve d'une résistance structurale suffisante ou par d'autres mesures prévues dans le cadre de l'élaboration du concept.
- 2.3.8 Si l'armature collée est exposée à des agressions chimiques, on examinera leur effet sur les divers composants.

2.4 Analyse structurale et dimensionnement

- 2.4.1 L'analyse structurale doit permettre d'appréhender le comportement de la structure renforcée en fonction des états de dimensionnement considérés, en tenant compte des valeurs d'influence déterminantes.
- 2.4.2 On dimensionnera les éléments à renforcer en fonction des états-limites ultimes et des états-limites de service selon les normes de structures en vigueur.
- 2.4.3 Si les actions indirectes sont prépondérantes on s'assurera que les zones renforcées peuvent aussi reprendre les déformations imposées.
- 2.4.4 Les dimensionnements sur la base d'essais respecteront les dispositions de la norme SIA 260.

2.5 Cahier des charges et exécution

- 2.5.1 Pour s'assurer de l'aptitude d'une armature collée, des essais préliminaires peuvent être nécessaires.
- 2.5.2 Le cahier des charges énoncera les exigences posées aux matériaux utilisés, au support et aux particularités propres du dispositif utilisé.
- 2.5.3 Le cahier des charges fixera les exigences de qualité, les méthodes d'essais et les critères de réception, ainsi que les mesures à prendre si ces critères ne sont pas remplis.
- 2.5.4 En cours d'exécution, on contrôlera le bien-fondé des données admises et des hypothèses faites.

2.6 Surveillance et maintenance

- 2.6.1 Les armatures collées feront l'objet d'une surveillance pendant leur mise en place et pendant toute leur durée d'utilisation.
- 2.6.2 Les travaux réguliers de maintenance nécessaires à la conservation de l'armature collée sont à prescrire dans le plan de maintenance.
- 2.6.3 La remise en état d'une armature collée peut se faire par remplacement ou par complément.

2.7 Documents de construction

La convention d'utilisation, la base du projet et les directives d'utilisation (notamment catégories de charges utiles ou charges admissibles, indication de la fonction structurale des armatures collées), le plan de surveillance et le plan de maintenance sont à tenir à jour. Les documents de construction seront complétés par les informations principales liées au projet et à l'exécution de l'armature collée, telles que les spécifications des matériaux et des systèmes utilisés, les désignations des produits, les procès-verbaux de contrôle.

3 ANALYSE STRUCTURALE ET DIMENSIONNEMENT

3.1 Etats-limites ultimes

3.1.1 Principe

La sécurité structurale est vérifiée si le critère de dimensionnement suivant est rempli:

$$E_d \leq R_d \tag{4}$$

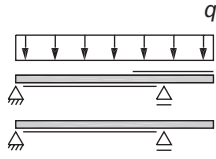
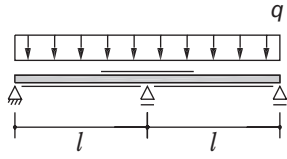
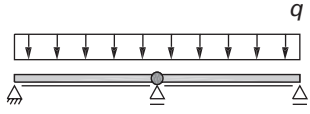
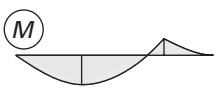
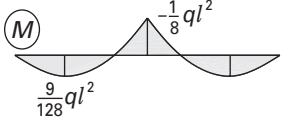
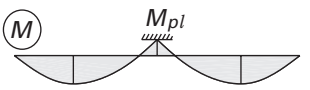
E_d valeur de calcul de l'effet d'une action

R_d valeur de calcul de la résistance ultime

3.1.2 Détermination des efforts intérieurs

3.1.2.1 Un renfort flexionnel conduit généralement à une réduction de la capacité de déformation plastique de la structure. Par conséquent la procédure de calcul des efforts intérieurs sera choisie conformément aux variantes de structure et de renfort du tableau 2.

Tableau 2 Procédures de calcul des efforts intérieurs

Système statique	Isostatique	Hyperstatique		
Renfort flexionnel	Renfort complet ou partiel	Renfort complet	Renfort partiel	
Exemple				
Calcul des efforts intérieurs	Selon l'équilibre			
Remarques		<p>En général calcul élastique de l'ouvrage existant.</p> <p>Dans les structures en béton l'effet raidisseur des lamelles peut être négligé.</p> <p>Si l'on utilise des plaques d'acier et que la formation d'articulations plastiques est possible, une redistribution des efforts intérieurs est admissible.</p> <p>Lors du renfort de structures hyperstatiques on tiendra compte des aspects suivants:</p> <ul style="list-style-type: none"> - les modèles seront choisis de manière à correspondre le mieux possible au comportement réel, - les efforts parasites dus p.ex. à des déplacements d'appuis seront pris en considération. 		

- 3.1.2.2 Le dimensionnement de l'armature collée destinée à un renfort flexionnel suppose la détermination des efforts intérieurs dans toutes les parties de la structure influencées par le renfort.
- 3.1.2.3 La valeur de calcul de l'effet de l'action E_d sera déterminée en tenant compte de la charge et de la déformation de l'élément régnant au moment de la mise en place de l'armature collée.
- 3.1.2.4 Les armatures collées précontraintes conduisent à des efforts intérieurs qui doivent aussi être pris en considération.

3.1.3 Résistance ultime

- 3.1.3.1 La valeur de calcul de la résistance ultime R_d sera établie en tenant compte des renseignements disponibles sur la structure existante selon les règles de la norme de structure y relative. On procédera comme suit:

$$R_d = R \left\{ \frac{\eta X_k}{\gamma_M}, a_d \right\} \quad \text{ou} \quad R_d = R \left\{ \varepsilon_{lim,d}, a_d \right\} \quad (5, 6)$$

X_k valeur caractéristique d'une propriété de matériau

$\varepsilon_{lim,d}$ valeur de calcul d'un allongement limite

a_d valeur de calcul d'une grandeur géométrique

γ_M facteur de résistance

η facteur de conversion

- 3.1.3.2 La résistance ultime est une propriété d'une assez grande zone de structure et ne peut généralement pas être vérifiée uniquement en ne considérant que quelques sections isolées.
- 3.1.3.3 La détermination de l'état de contrainte et de déformation dans une section se fait selon les prescriptions des normes de structures relatives au support considéré. Les hypothèses pour effectuer une analyse de section sont données au chiffre 3.1.7.1.3. L'influence des écarts de température est généralement négligée.
- 3.1.3.4 L'état de contrainte et de déformation au moment de la mise en place de l'armature collée sera pris en compte. On utilisera en outre les valeurs suivantes:
- effets des actions E_{ser} de l'état de service provenant des actions effectivement présentes;
 - valeurs caractéristiques des modules d'élasticité.
- 3.1.3.5 On tiendra compte des allongements préexistants dus à l'historique des charges. En présence d'entraves probables non calculables, on aura recours à des hypothèses d'états extrêmes.
- 3.1.3.6 Les armatures collées sont généralement considérées comme des tirants travaillant dans leur direction.
- 3.1.3.7 Dans les sections de béton sollicitées en flexion, l'hypothèse simplificatrice d'une répartition rectangulaire des contraintes de compression n'est admissible que si l'état de rupture y relatif (rupture du béton) peut être démontré par le calcul.
- 3.1.3.8 Aux emplacements où le flux interne des forces est fortement perturbé (p.ex. aux lieux d'introduction de forces ou aux ancrages d'extrémité), il faut utiliser des modèles de calcul appropriés ou recourir à des essais sur modèle.
- 3.1.3.9 Pour la situation de risque *défaillance de l'armature collée* on utilisera la résistance ultime de la section non renforcée (voir aussi les chiffres 2.3.4 et 2.3.6).
- 3.1.3.10 Pour la situation de projet *incendie* et en négligeant l'armature collée, on ne peut utiliser des procédés simplifiés (p.ex. selon norme SIA 262 chiffre 4.3.10.5) que si le taux de sollicitation selon norme SIA 264 chiffre 4.4.3.2 ne dépasse pas 0,7.

3.1.4 Valeurs de calcul des matériaux

3.1.4.1 DÉFINITION

3.1.4.1.1 La valeur de calcul X_d d'une propriété d'un matériau se calcule comme suit:

$$X_d = \frac{\eta X_k}{\gamma_M} \quad (7)$$

X_k valeur caractéristique d'une propriété d'un matériau

η facteur de correction

γ_M coefficient de résistance

3.1.4.1.2 Pour les modes de ruine spécifiques des armatures collées on appliquera aux valeurs de résistance les coefficients du tableau 3.

Tableau 3 Coefficients pour la détermination des valeurs de calcul des propriétés d'un matériau

<i>Défaillance du renfort</i>		
Lamelle en acier	$\gamma_M = 1,05$	$\eta = 1,0$
Lamelle en matériau composite	$\gamma_M = 1,30$	$\eta = 0,8$
Tissé ou non-tissé en matériau composite	$\gamma_M = 1,30$	$\eta = 0,8$
<i>Défaillance de la liaison</i>		
Défaillance dans la colle	$\gamma_M = 1,50$	$\eta = 0,8$
Défaillance dans le béton	$\gamma_M = 1,50$	η : selon norme SIA 262
Défaillance dans le bois	γ_M, η : selon norme SIA 265	
Défaillance dans la maçonnerie	γ_M, η : selon norme SIA 266	
<i>Défaillance des moyens d'ancrage</i>		
Lors de l'emploi de moyens d'ancrage selon chiffre 3.1.5.6, les coefficients seront déterminés par une méthode scientifique en tenant compte de l'effet recherché.		

3.1.4.1.3 Les allongements limite et de rupture sont donnés déjà en tant que valeurs de calcul $\epsilon_{lim,d}$ ou $\epsilon_{u,d}$.

3.1.4.2 SUPPORT

3.1.4.2.1 Les matériaux de support sont à attribuer à une classe de matériau en fonction des informations suivantes:

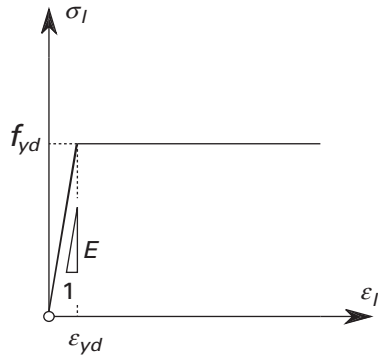
- valeurs mesurées de la résistance et de la rigidité;
- identification au moyen de marques;
- identification au moyen des documents de construction.

3.1.4.2.2 Les valeurs caractéristiques X_k des classes de matériau figurent dans les normes de structures correspondantes.

3.1.4.3 LAMELLES EN ACIER

3.1.4.3.1 La force de traction dans une lamelle est à déterminer à l'aide d'un diagramme contrainte-déformation idéalisé selon fig. 1.

Fig. 1 Diagramme contrainte-déformation idéalisé de l'acier de construction

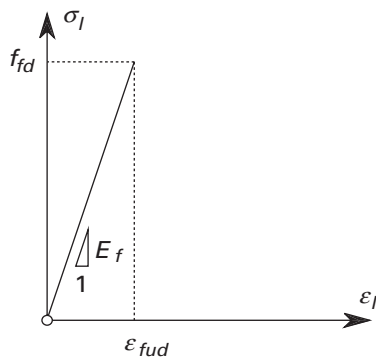


3.1.4.3.2 La valeur caractéristique de la limite élastique f_y est à appliquer selon norme SIA 263.

3.1.4.4 LAMELLES EN MATÉRIAUX COMPOSITES À FIBRES UNIDIRECTIONNELLES

3.1.4.4.1 La force de traction dans une lamelle composée exclusivement de fibres de même nature est à déterminer à l'aide d'un diagramme contrainte-déformation selon fig. 2. Pour des lamelles en fibres de divers matériaux (lamelles hybrides), le diagramme contrainte-déformation peut s'écarter considérablement de celui de la fig. 2 et présenter des parties non linéaires.

Fig. 2 Diagramme contrainte-déformation idéalisé de lamelles en matériau composite à fibres de même nature



3.1.4.4.2 Les valeurs caractéristiques du module d'élasticité et de la résistance figurent dans les indications des fabricants. Il faut cependant s'assurer que pour chaque valeur la dispersion ou les fractiles soient connus. Pour les lamelles à fibres hybrides le module d'élasticité dépend de l'intensité de la contrainte appliquée ainsi que de l'historique des charges.

3.1.4.5 TISSÉS ET NON-TISSÉS

Les valeurs caractéristiques telles que le module d'élasticité et la résistance dans chaque direction principale figurent dans les indications des fabricants. Il faut cependant s'assurer que pour chaque valeur la dispersion ou les fractiles soient connus.

3.1.5 **Ancrage**

3.1.5.1 PRINCIPE

3.1.5.1.1 La sécurité structurale d'un ancrage est vérifiée si la condition suivante est remplie:

$$F''_{b,d} \leq F_{b,Rd} \quad (8)$$

$F''_{b,d}$ valeur de calcul de la force de traction agissant sur l'ancrage (force d'ancrage)

$F_{b,Rd}$ valeur de calcul de la résistance ultime de l'ancrage (résistance de l'ancrage)

3.1.5.1.2 Pour la modélisation on fait la distinction entre la *zone fonctionnelle* et la *zone d'ancrage* d'une armature collée (pour les structures béton selon fig. 4). Dans la zone fonctionnelle, l'armature collée peut reprendre des forces de traction et ainsi renforcer de façon ciblée la partie d'élément située dans cette zone. Les forces de traction qui en résultent aux extrémités de la zone fonctionnelle doivent être ancrées dans la zone d'ancrage. Condition pour la vérification selon chiffre 3.1.5.1.1: l'ancrage doit être disposé dans une zone d'élément théoriquement non fissurée.

3.1.5.1.3 La zone théoriquement non fissurée est déterminée au niveau du dimensionnement et à partir de la valeur moyenne de la résistance d'ancrage réduite f_{ctH} . Dans cette zone, on appliquera:

$$\sigma_{cd} (S_d) \leq \frac{f_{ctH}}{\gamma_M} \quad (9)$$

σ_{cd} valeur de calcul de la contrainte de bord du béton

S_d valeur de calcul des efforts intérieurs

γ_M coefficient de résistance selon le tableau 3

3.1.5.2 DÉTERMINATION DES EFFORTS INTÉRIEURS

Les efforts intérieurs aux extrémités de la zone fonctionnelle seront déterminés selon les procédures du tableau 2. La force de traction ainsi obtenue dans l'armature collée $F''_{b,d}$ est la force d'ancrage à reprendre dans la zone d'ancrage.

3.1.5.3 RÉSISTANCE ULTIME D'UN ANCRAGE COLLÉ SUR DU BÉTON

3.1.5.3.1 La zone d'ancrage est égale à la surface non fissurée côté lamelle de l'élément de construction. On peut distinguer les longueurs caractéristiques suivantes (fig. 4):

l_{ld} valeur de calcul de la longueur du tronçon de lamelle situé dans la zone d'ancrage

l_{b0d} valeur de calcul de la longueur d'ancrage efficace dont le dépassement n'augmente pas la résistance de l'ancrage

l_{bd} valeur de calcul de la longueur d'ancrage calculée qui ne doit pas être plus grande que l_{b0} et doit être située dans la zone d'ancrage de l'élément de construction ($l_{bd} = \min\{l_{ld}, l_{b0d}\}$).

3.1.5.3.2 Pour le calcul de la résistance d'un ancrage sur du béton, on admet que la ruine se produit par dépassement de la résistance au cisaillement du support.

3.1.5.3.3 Le comportement structural d'un ancrage collé sur du béton doit être étudié au moyen d'un modèle réaliste. L'hypothèse simplifiée de contraintes de cisaillement constantes (nominales), parfois usuelle pour d'autres problèmes de dimensionnement, n'est pas admise. L'application de la loi d'adhérence selon fig. 3 conduit aux formules du tableau 4.

Fig. 3 Modèle pour déterminer la résistance ultime des ancrages collés sur du béton

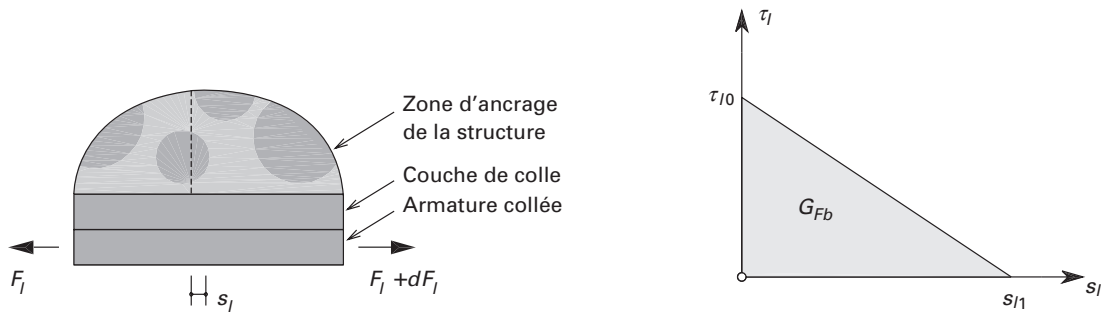


Tableau 4 Formules pour déterminer la résistance ultime de l'ancrage

Longueur d'ancrage	Résistance ultime	
$l_{bd} \geq l_{b0d} = \frac{\pi}{2} \cdot \sqrt{2 \cdot \frac{G_{Fbd} \cdot E_I \cdot t_l}{\tau^2_{l0d}}}$	$F_{b0,Rd} = b_l \cdot \sqrt{2 \cdot G_{Fbd} \cdot E_I \cdot t_l}$	(10, 11)
<p>Commentaire:</p> <ul style="list-style-type: none"> - résistance ultime maximale - les longueurs d'ancrage $l_{bd} \geq l_{b0d}$ n'augmentent pas la résistance ultime - la longueur d'ancrage l_{bd} est entièrement située dans la zone théoriquement non fissurée d'une structure. 		
$l_{bd} < l_{b0d}$	$F_{b,Rd} = b_l \cdot \sqrt{2 \cdot G_{Fbd} \cdot E_I \cdot t_l} \cdot \sin \sqrt{\frac{\tau^2_{l0d} \cdot l_{bd}^2}{2 \cdot G_{Fbd} \cdot E_I \cdot t_l}}$	(12, 13)
<p>Commentaire:</p> <ul style="list-style-type: none"> - résistance ultime pour longueurs d'ancrage $l_{bd} < l_{b0d}$ - la longueur d'ancrage l_{b0d} se trouve entièrement dans la zone théoriquement non fissurée d'une structure. 		

l_{bd} valeur de calcul de la longueur d'ancrage

l_{b0d} valeur de calcul de la longueur d'ancrage efficace

$F_{b,Rd}$ valeur de calcul de la résistance de l'ancrage

$F_{b0,Rd}$ valeur de calcul de la résistance maximale de l'ancrage

G_{Fbd} valeur de calcul de l'énergie de rupture spécifique du support selon chiffre 3.1.5.3.4

τ_{l0d} valeur de calcul de la contrainte maximale de cisaillement admissible du support, selon chiffre 3.1.5.3.5

b_l, t_l largeur et épaisseur de l'armature collée

E_I module d'élasticité de l'armature collée

3.1.5.3.4 La valeur de calcul de l'énergie de rupture spécifique G_{Fbd} du béton de surface pour le béton des classes C 20/25 à C 50/60 est approximativement proportionnelle à la résistance à la traction d'adhérence.

$$G_{Fbd} = \frac{1}{8} \cdot \frac{f_{ctH}}{\gamma_M}, \quad G_{Fbd} \text{ en N/mm} \quad (14)$$

f_{ctH} valeur moyenne de la résistance à la traction d'adhérence selon DIN 1048 partie 2

γ_M coefficient de résistance selon tableau 3

3.1.5.3.5 La valeur de calcul de la contrainte tangentielle maximale τ_{l0d} admissible du béton de surface pour les bétons des classes C 20/25 à C 50/60 est approximativement proportionnelle à la résistance à la traction d'adhérence:

$$\tau_{l0d} = \frac{4}{3} \cdot \frac{f_{ctH}}{\gamma_M} \quad (15)$$

f_{ctH} valeur moyenne de la résistance à la traction d'adhérence selon DIN 1048 partie 2
 γ_M coefficient de résistance selon le tableau 3

3.1.5.4 ANCRAGE COLLÉ SUR DE LA MAÇONNERIE

Les armatures collées sur la maçonnerie doivent si possible être ancrées à des éléments en béton adjacents. Si l'ancrage sur la maçonnerie est inévitable, on veillera aux points suivants:

- L'ancrage sera disposé de manière à ce que la force d'ancrage soit transmise à la maçonnerie sous forme de compression.
- Les contraintes de compression dans l'interface colle-maçonnerie seront imitées à la résistance à la compression des briques f_b , resp. à la résistance à la traction transversale des briques f_{bq} , selon le chapitre 3 de la norme SIA 266.
- La transmission des forces dans les joints d'assise et verticaux sera contrôlée.

3.1.5.5 ANCRAGES COLLÉS SUR DU MÉTAL OU SUR DU BOIS

3.1.5.5.1 Le comportement structural d'un ancrage collé sur du métal ou sur du bois sera étudié à l'aide d'un modèle réaliste. Des essais sont recommandés si l'on ne dispose d'aucune théorie applicable au cas à étudier.

3.1.5.5.2 Le fluage des structures en bois peut conduire à une augmentation de sollicitation de l'armature collée liée au temps. Il faut tenir compte de ce fait lors du dimensionnement de l'ancrage.

3.1.5.6 MOYENS D'ANCRAGE

3.1.5.6.1 Par des dispositifs complémentaires on peut obtenir des résistances d'ancrage plus élevées ou des longueurs d'ancrage plus courtes que celles définies au chiffre 3.1.5.3. On peut p.ex. utiliser des goujons d'ancrage pour les lamelles en acier ou des plaques de pinçage pour les lamelles et les tissés resp. les non-tissés en matériaux composites.

3.1.5.6.2 Le comportement de tels systèmes d'ancrage, particulièrement leur résistance ultime, doit être établi par des recherches théoriques ou expérimentales.

3.1.5.6.3 Les résistances de systèmes d'ancrage différents ne peuvent être superposées que si leurs modes de déformation sont comparables et que leur collaboration est ainsi garantie.

3.1.6 Adhérence

3.1.6.1 Dans les éléments de construction présentant des fissures dues à des sollicitations de traction, la concentration d'allongement de l'armature dans les zones fissurées de la zone fonctionnelle est prise en compte au moyen du coefficient d'adhérence κ .

$$\kappa = \frac{\varepsilon}{\varepsilon''} \quad (16)$$

ε allongement moyen de l'armature
 ε'' allongement de l'armature dans la fissure

3.1.6.2 Pour les éléments en béton ou en maçonnerie on utilisera les valeurs suivantes pour le coefficient d'adhérence:

coefficient d'adhérence de l'armature intérieure en barres $\kappa_s = 0,7$ (17)

coefficient d'adhérence de l'armature collée extérieure $\kappa_f = 0,9$ (18)

3.1.6.3 Les éléments de construction en métal ou en bois ne sont en général pas fissurés, de sorte que la surface du support et l'armature collée présentent le même allongement en tout point de la zone fonctionnelle. Pour les éléments en métal ou en bois fissurés, le coefficient d'adhérence κ sera déterminé expérimentalement ou à partir d'un modèle théorique.

3.1.7 Sécurité structurale des poutres fléchies renforcées

3.1.7.1 GÉNÉRALITÉS

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

La sécurité vis-à-vis de ces mécanismes de ruine est vérifiée si les conditions du chiffre 3.1.7.1.4 sont remplies.

- 3.1.7.1.2 Les résistances ultimes d'un élément de construction renforcé seront déterminées selon chiffre 3.1.3 en tenant compte des propriétés connues de la structure porteuse. On tiendra notamment compte des allongements préexistants causés par les charges déjà subies, par les charges existant au moment du renforcement et par la précontrainte.

- 3.1.7.1.3 L'analyse détaillée des sections se fondera sur les hypothèses suivantes:
- Les sections restent planes et perpendiculaires à l'axe de la poutre.
 - L'armature collée ne transmet selon chiffre 3.1.3.6 que des forces de traction dans sa direction.
 - La résistance à la traction du béton est négligée.
 - Le comportement contrainte-déformation des matériaux concernés sera pris en compte selon chiffre 3.1.4 et le cas échéant selon chiffre 3.1.3.7.
 - En cas de support fissuré, la concentration des allongements dans l'armature sera prise en compte par le coefficient d'adhérence κ .

- 3.1.7.1.4 La sécurité structurale flexionnelle est vérifiée si les conditions suivantes sont remplies:

$$M_d \leq M_{Rd} \quad (\text{contrôle flexionnel dans zone non renforcée}) \quad (19)$$

$$V_d \leq V_{Rd} \quad (\text{contrôle de l'effort tranchant dans zone renforcée et non renforcée}) \quad (20)$$

$$F''_{b,d} \leq F_{b,Rd} \quad (\text{contrôle de l'ancrage à l'extrémité de la zone fonctionnelle}) \quad (8)$$

$$F''_{l,d} \leq F_{l,Rd} \quad (\text{contrôle de la force de traction dans la zone fonctionnelle}) \quad (21)$$

$$\left(\frac{\Delta F_{l,d}}{\Delta x} \right) \leq \left(\frac{\Delta F_l}{\Delta x} \right)_{Rd} \quad (\text{contrôle de la variation de traction dans la zone fonctionnelle}) \quad (22)$$

Les effets des actions et les résistances peuvent être déterminés ainsi:

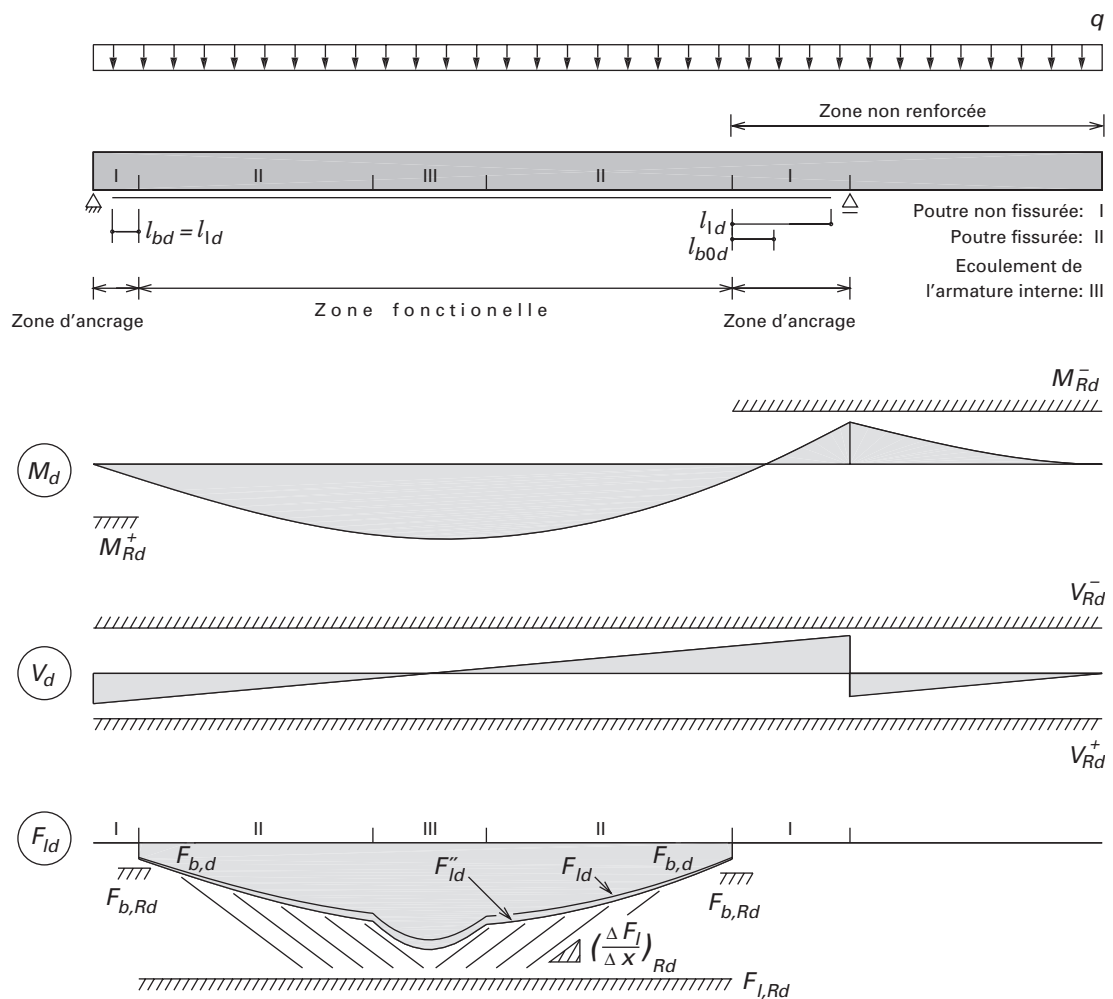
M_d	conformément au chiffre 3.1.2
M_{Rd}	conformément au chiffre 3.1.7.2.5
V_d	conformément au chiffre 3.1.2
V_{Rd}	conformément au chiffre 3.1.7.2.6
$F''_{b,d}$	conformément au chiffre 3.1.5.2
$F_{b,Rd}$	conformément au tableau 4
$F''_{l,d}$	conformément au chiffre 3.1.7.2.3
$F_{l,Rd}$	conformément au chiffre 3.1.7.2.7
$(\Delta F_{l,d}/\Delta x)$	conformément au chiffre 3.1.7.2.4
$(\Delta F_l/\Delta x)_{Rd}$	conformément au chiffre 3.1.7.2.8

3.1.7.2 FLEXION DANS LES POUTRES EN BÉTON ARMÉ OU PRÉCONTRAIT

3.1.7.2.1 Concernant les mécanismes de ruine du chiffre 3.1.7.1.1, on notera les points suivants:

- La rupture du support peut se produire surtout par dépassement de la résistance à la compression du béton.
- La rupture du renforcement peut se produire par dépassement de la résistance à la traction de l'armature collée.
- La rupture de l'adhérence est le mode courant de rupture des armatures collées passives à haute rigidité (*détachement des lamelles*) à cause de la résistance limitée du béton à la traction. L'origine de ce type de rupture se trouve généralement dans la zone d'ancrage ou dans une zone d'introduction des forces où l'armature interne a déjà dépassé sa limite d'écoulement.
- Les ruptures par cisaillement dans la colle, dans l'armature collée ou dans l'une des interfaces peuvent être évitées par un choix judicieux des composants concernés et par le respect des prescriptions d'exécution et d'assurance qualité des chapitres 6 et 7.
- Pour la vérification de la sécurité structurale, on procédera selon fig. 4.

Fig. 4 Contrôles d'une poutre fléchie partiellement renforcée



3.1.7.2.2 Pour les éléments de construction sollicités principalement en flexion, on limitera la hauteur de la zone comprimée selon norme SIA 262 afin de garantir une déformabilité minimale.

3.1.7.2.3 Les efforts intérieurs M_d et V_d seront déterminés selon le chiffre 3.1.2. Ils peuvent être attribués aux composantes des sections selon les principes suivants:

Poutre fléchie renforcée sans renfort à l'effort tranchant

- Le moment de flexion provoque des forces de traction dans l'armature et des forces de compression dans le béton (fig. 5a).
- L'effort tranchant est repris par la résistance au cisaillement du béton (fig. 5b).

Pour déterminer les forces intérieures, on peut utiliser les formules suivantes:

$$F''_{sd}(M_d) = A_s \cdot E_s \cdot \frac{\varepsilon_{sd}}{\kappa_s} \leq A_s \cdot f_{sd} \quad (23)$$

$$F''_{ld}(M_d) = A_l \cdot E_l \cdot \frac{\varepsilon_{ld}}{\kappa_l} \leq A_l \cdot f_{yd} \quad (24)$$

Poutre fléchie renforcée avec renfort à l'effort tranchant

Si l'on complète le renfort flexionnel par un renfort d'étriers d'effort tranchant, on augmente la déformation à l'état de rupture. De cette façon les forces intérieures peuvent se comporter comme dans un treillis, si bien que le moment de flexion et l'effort tranchant génèrent tous deux des forces de traction longitudinales (fig. 5c). Leur répartition entre l'armature intérieure et l'armature collée peut se faire comme suit:

- Dans les zones où l'armature intérieure n'a pas encore atteint sa limite d'écoulement due à la flexion, on lui attribuera la part de traction provenant de l'effort tranchant.
- Dans les zones où l'armature intérieure s'écoule déjà, on s'assurera que le béton peut transmettre à la lamelle l'augmentation de traction due à l'effort tranchant.
- Dans la zone d'ancrage de la lamelle, l'armature intérieure doit reprendre la totalité de la force de traction.

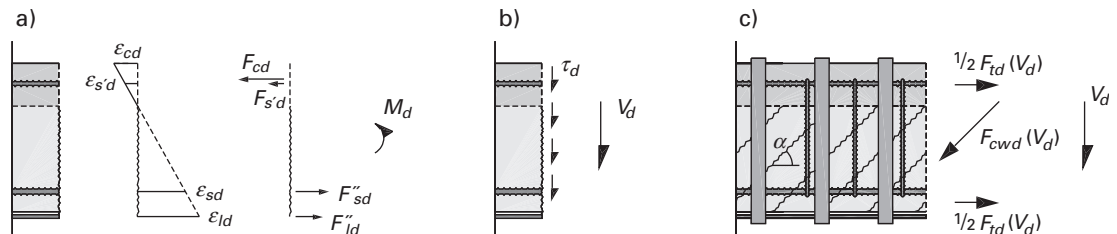
Pour déterminer les forces intérieures, on peut utiliser les formules suivantes en tenant compte du chiffre 3.1.7.3.5:

$$F_{td}(V_d) = V_d \cdot \cot \alpha \quad (25)$$

$$F''_{sd}(M_d, V_d) = A_s \cdot E_s \cdot \frac{\varepsilon_{sd}}{\kappa_s} + \frac{1}{2} \cdot F_{td}(V_d) \leq A_s \cdot f_{sd} \quad (26)$$

$$F''_{ld}(M_d, V_d) = A_l \cdot E_l \cdot \frac{\varepsilon_{ld}}{\kappa_l} + \frac{1}{2} \cdot F_{td}(V_d) \leq A_l \cdot f_{yd} \quad (27)$$

Fig. 5 Forces intérieures pour des poutres renforcées à la flexion: a) dues à la flexion; b) dues à l'effort tranchant sans renfort pour cet effort; c) dues à l'effort tranchant avec renfort pour cet effort



3.1.7.2.4 En deux points voisins x et $x + \Delta x$ la force dans l'armature collée n'est en général pas la même. Cette variation de la force de traction sur la longueur sera déterminée comme suit:

$$\frac{\Delta F_{ld}}{\Delta x} = \frac{F_{ld}(x + \Delta x) - F_{ld}(x)}{\Delta x} \quad (28)$$

3.1.7.2.5 Le calcul de la résistance à la flexion M_{Rd} s'effectue selon la norme SIA 262.

3.1.7.2.6 Le calcul de la résistance à l'effort tranchant V_{Rd} s'effectue selon la norme SIA 262; les poutres non ceinturées de lamelles de renfort à l'effort tranchant peuvent être traitées de la même façon que les éléments de construction sans armature de cisaillement.

3.1.7.2.7 Lors du calcul de la résistance à la traction, on prend en compte aussi bien la résistance de l'armature collée que la compatibilité de déformation avec le support. On procédera comme suit:

$$F_{l,Rd} = A_l \cdot E_l \cdot \varepsilon_{l,lim,d} \leq A_l \cdot E_l \cdot \varepsilon_{fud} \quad (29)$$

$$\varepsilon_{l,lim,d} = 8\text{‰} \quad (30)$$

3.1.7.2.8 La résistance à la variation de la force de traction limite les contraintes de cisaillement moyennes qui se transmettent entre l'armature collée et le support.

$$\left(\frac{\Delta F_t}{\Delta X}\right)_{Rd} = \tau_{l,lim,d} \cdot b_l \quad (31)$$

$$\tau_{l,lim,d} = 2,5 \cdot \tau_{cd} \quad \tau_{cd} \text{ selon norme SIA 262} \quad (32)$$

3.1.7.3 EFFORT TRANCHANT DANS LES POUTRES EN BÉTON ARMÉ OU PRÉCONTRAIT

3.1.7.3.1 La résistance à l'effort tranchant des poutres en béton armé ou précontraint peut être augmentée par la pose d'une armature collée en forme d'étriers. Le contrôle à l'effort tranchant des poutres en béton armé ou précontraint renforcées doit se baser sur un champ de contraintes avec inclinaison variable des bielles comprimées selon norme SIA 262.

3.1.7.3.2 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 hypothèses et les règles suivantes sont respectées:

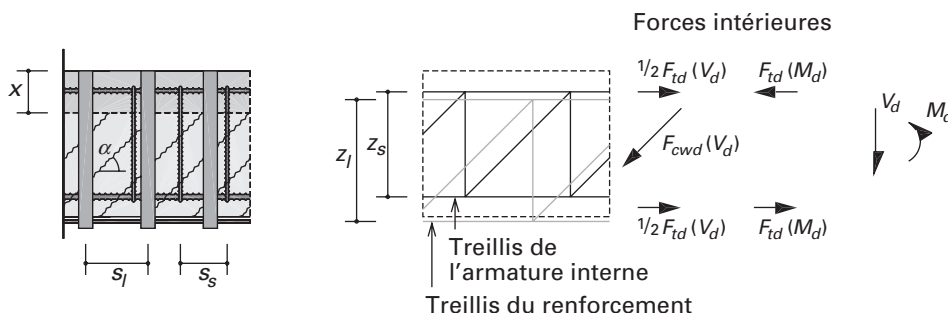
- A l'état de service non renforcé il n'y a pas de fissures de cisaillement.
- Les étriers internes s'écoulent déjà avant que les étriers collés n'aient atteint leur force de traction F_{lw} selon chiffre 3.1.7.3.3, soit $F_{lw} / (A_l \cdot E_l) > f_y / E$.
- Pour les deux composantes de la résistance à l'effort tranchant il faut utiliser la même inclinaison des diagonales.
- Les bras de levier z_s et z_l , généralement différents du renfort à l'effort tranchant agissant en treillis seront déterminés selon les dessins de la fig. 6 et du tableau 5.
- Si les deux composantes présentent des étriers d'inclinaisons différentes, on appliquera un raisonnement cinématique.
- La rupture des diagonales de béton comprimées est à contrôler dans la zone entourée par les deux types d'étriers.
- La traction longitudinale due à l'effort tranchant doit pouvoir être reprise par l'armature resp. par la zone de béton collaborante surcomprimée par la flexion. L'armature longitudinale doit être suffisamment ancrée à ses extrémités.

Si tous ces points sont respectés, la résistance de l'ensemble de l'armature d'étriers vaut:

$$V_{Rd} = V_{Rd,s} + V_{Rd,l} = \frac{A_{sw} \cdot f_{sd}}{s_s} \cdot z_s \cdot \cot \alpha + \frac{F_{lwd}}{s_l} \cdot z_l \cdot \cot \alpha \quad (33)$$

$V_{Rs,d}$	valeur de calcul de la résistance à l'effort tranchant des étriers internes
$V_{Rl,d}$	valeur de calcul de la résistance à l'effort tranchant des étriers collés
A_{sw}	section des étriers internes
f_{sd}	valeur de calcul de la limite d'écoulement des étriers internes
s_s	espacement des étriers internes
z_s	bras de levier des résultantes de traction et de compression de l'armature interne
F_{lwd}	valeur de calcul de la force de traction agissant dans l'armature collée, déterminée selon les dispositions de la présente prénorme
s_l	espacement des étriers collés
z_l	bras de levier des résultantes de traction et de compression de l'armature collée, déterminé selon les dispositions la présente prénorme
α	angle d'inclinaison des diagonales de béton comprimé

Fig. 6 Modèle pour le fonctionnement de l'armature d'effort tranchant



3.1.7.3.3 Pour modéliser la résistance structurale d'un étrier collé, il faut supposer que celui-ci travaille comme un tirant ancré à ses extrémités. Sa force de traction est limitée par la force d'ancrage F_b reprise par les zones d'ancrage ou par la force de rupture de l'étrier utilisé: $F_{Iw} = \min (F_{b,sup}, F_{b,inf}, F_{Iu})$. (33a)

La force d'ancrage F_b et le bras de levier z_I des résultantes de traction et de compression de l'armature collée peuvent être déterminés selon les données du tableau 5.

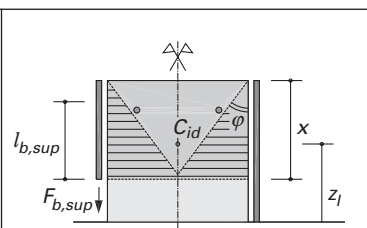
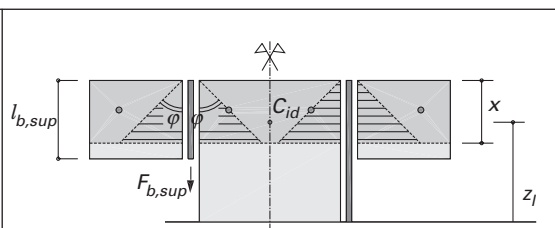
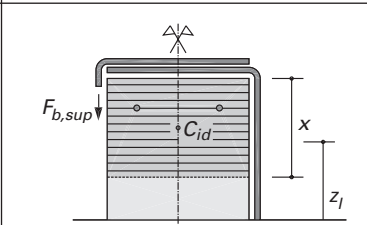
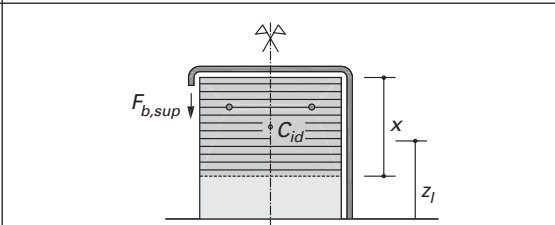
3.1.7.3.4 Si l'on doit renforcer à l'effort tranchant une poutre fléchie qui présente déjà des fissures à l'état de service, il faut utiliser des étriers qui couvrent toute la hauteur de la poutre et qui peuvent être pré-contraints. Dans ce cas l'adhérence de la colle ne présente qu'un caractère constructif.

3.1.7.3.5 La traction longitudinale due à l'effort tranchant doit autant que possible être reprise par l'armature interne. Dans les zones où celle-ci a dépassé sa limite d'écoulement, la traction longitudinale ne peut être reprise par l'armature collée que si les points suivants sont respectés:

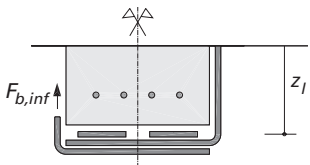
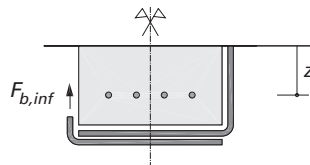
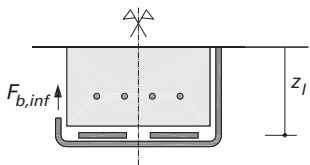
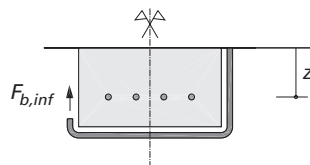
- l'armature d'étriers collée doit ceinturer l'armature collée longitudinale;
- l'armature collée longitudinale doit être suffisamment ancrée.

Tableau 5 Détermination du bras de levier des forces internes et de la force d'ancrage de l'étrier

Côté comprimé fléchi

<p>Description</p> <p>$F_{b,sup}$</p> <p>φ</p> <p>z_I</p>	 <p>Ancrage par collage latéral dans la zone comprimée selon chiffre 3.1.5</p> <p>dès C_{id}</p>	 <p>Ancrage au mortier dans trou foré</p> <p>expérimental</p> <p>45°</p> <p>dès C_{id}</p>
<p>Description</p> <p>$F_{b,sup}$</p> <p>z_I</p>	 <p>Recouvrement d'équerres de cisaillement sur chaque côté</p> <p>expérimental</p> <p>dès C_{id}</p>	 <p>Ceinturage de la section</p> <p>expérimental</p> <p>dès C_{id}</p>

Côté tendu fléchi (suite du tableau 5)

<p>Description</p> <p>$F_{b,inf}$</p> <p>z_I</p>	 <p>Recouvrement d'équerres de cisaillement sur chaque côté, avec armature longitudinale collée expérimental jusqu'à l'armature longitudinale collée</p>	 <p>Recouvrement d'équerres de cisaillement sur chaque côté, sans armature longitudinale collée expérimental jusqu'à l'armature longitudinale interne</p>
<p>Description</p> <p>$F_{b,inf}$</p> <p>z_I</p>	 <p>Ceinturage de la section, avec armature longitudinale collée expérimental jusqu'à l'armature longitudinale collée</p>	 <p>Ceinturage de la section, sans armature longitudinale collée expérimental jusqu'à l'armature longitudinale interne</p>

C_{id} centre de gravité de la surface hachurée = point d'application de la résultante de traction de l'effort tranchant

x zone comprimée fléchie

φ angle de répartition de la force d'ancrage des étriers collés

$l_{b,sup}$ longueur d'ancrage dessus

$F_{b,sup}, F_{b,inf}$ force d'ancrage dessus, dessous

z_I bras de levier des résultantes de traction et de compression de l'armature collée

3.1.8 Sécurité structurale des structures bidimensionnelles fléchies

3.1.8.1 DALLES EN BÉTON ARMÉ

3.1.8.1.1 Si l'on renforce des dalles en béton armé par des lamelles d'acier, celles-ci devront être disposées surtout dans la direction porteuse principale. Les moments de flexion (effets des actions) peuvent être déterminés selon le théorème de la borne inférieure de la théorie de la plasticité et les résistances à la flexion selon la norme SIA 262.

3.1.8.1.2 Si l'on renforce des dalles en béton armé par des lamelles en matériaux composites, celles-ci seront disposées de telle façon qu'elles croisent les fissures probables autant que possible à angle droit, mais au moins avec un angle $\geq 60^\circ$. Si cela n'est pas possible ou peu judicieux, les lamelles devront être croisées. La détermination des moments se fera selon la théorie de l'élasticité.

3.1.8.1.3 Le dimensionnement à l'effort tranchant peut s'effectuer selon la norme SIA 262. Le plein ancrage de l'armature maximale de flexion nécessaire selon l'effort tranchant jusqu'au-delà de l'appui sera assuré par des mesures constructives adéquates.

3.1.8.1.4 L'armature collée ne peut pas être comptée dans le taux d'armature de flexion ρ intervenant dans la résistance au poinçonnement selon la norme SIA 262.

3.1.8.2 MAÇONNERIE SOLLICITÉE EN FLEXION

- 3.1.8.2.1 Si une maçonnerie est sollicitée en flexion, on peut attribuer à l'armature collée les forces de traction qui ne peuvent pas être reprises par les joints d'assise et verticaux.
- 3.1.8.2.2 Les méthodes de calcul du béton armé de la norme SIA 262 et de la présente prénorme peuvent être appliquées par analogie, en tenant compte des grandeurs caractéristiques de la maçonnerie selon la norme SIA 266.

3.1.9 Sécurité structurale de voiles renforcés

- 3.1.9.1 L'analyse structurale s'effectuera sur la base d'un état de contraintes statiquement admissible (p.ex. modèle de treillis ou champs de contraintes).
- 3.1.9.2 L'armature collée pour des voiles en maçonnerie sollicités dans leur plan a pour premier but de garantir leur intégrité, même pour des charges élevées ou cycliques ou de fortes déformations.

3.1.10 Sécurité structurale d'éléments comprimés renforcés

- 3.1.10.1 Pour des éléments comprimés en béton armé, l'armature collée peut entièrement ou partiellement reprendre les fonctions suivantes des étriers traditionnels:
 - reprise des efforts d'éclatement dans les zones d'introduction des charges et dans les joints d'armature
 - reprise de l'effort tranchant dans les piliers encastrés
 - empêcher le flambage de l'armature longitudinale.
- 3.1.10.2 Si la résistance à l'effort normal d'éléments comprimés selon norme SIA 262 doit être augmentée par une armature de confinement, il faut utiliser pour le confinement au lieu de f_{sd} la contrainte de calcul suivante:
 - lamelles en acier: valeur de calcul de la limite d'écoulement f_{yd} de l'acier utilisé
 - lamelles en matériaux composites: valeur de calcul de la composante tangentielle de la contrainte longitudinale pour $\varepsilon_{l,lim,d} = 2\text{‰}$ ¹⁾
 - tissés et non-tissés: valeur de calcul de la contrainte tangentielle pour $\varepsilon_{l,lim,d} = 2\text{‰}$ ¹⁾

¹⁾ La valeur de $\varepsilon_{l,lim,d}$ peut être choisie différemment si l'on dispose de nouvelles connaissances fondées relatives à ce problème de dimensionnement.

3.2 Etats-limites pour l'aptitude au service

3.2.1 Principe

3.2.1.1 L'aptitude au service est vérifiée si la condition suivante est remplie:

$$E_d \leq C_d \quad (34)$$

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

C_d limite de service correspondante

3.2.2 Détermination des efforts intérieurs et des contraintes

3.2.2.1 Au niveau de service, le comportement d'une structure est généralement élastique. C'est pourquoi les effets des actions sous forme d'efforts intérieurs sont habituellement déterminés par la théorie de l'élasticité.

3.2.2.2 La valeur de calcul de l'effet de l'action E_d sera déterminée séparément pour les actions survenant avant et après l'application de l'armature collée.

3.2.2.3 Pour les contrôles de contraintes de sections en acier ou en bois, les contraintes peuvent être superposées.

3.2.2.4 Pour les contrôles de contraintes de sections contenant du béton et/ou de la maçonnerie, on superposera les allongements.

3.2.2.5 On peut prendre en compte l'influence d'une précontrainte de l'armature collée sur l'état de contraintes, sur le moment de fissuration et sur les déformations.

3.2.2.6 Il faut analyser l'influence éventuelle du comportement à long terme des matériaux et des dispositifs utilisés sur l'aptitude au service.

3.2.3 Aptitude au fonctionnement des structures porteuses en béton

3.2.3.1 CONTRAINTES À L'ÉTAT DE SERVICE

A l'état de service, les contraintes dans les armatures internes de la structure en béton renforcée devront satisfaire aux exigences de la norme SIA 262 ou elles ne devront pas dépasser le 90% de la valeur caractéristique de la limite d'écoulement des aciers concernés.

3.2.3.2 DÉFORMATIONS

3.2.3.2.1 Avec une armature collée l'augmentation de la rigidité des sections est plus faible que l'augmentation de la résistance ultime. Une vérification des déformations est dès lors nécessaire, en particulier lors de l'emploi de matériaux composites à haute résistance.

3.2.3.2.2 Le calcul des flèches des éléments en béton sollicités essentiellement en flexion se base par analogie sur la norme SIA 262.

3.2.3.2.3 Pour le calcul de taux moyens d'armature, on utilisera la somme pondérée des sections des diverses armatures. La hauteur statique correspond à la distance du bord comprimé au centre de gravité pondéré des différentes armatures. La pondération se fait en fonction du rapport des modules d'élasticité E_I/E_s .

3.2.4 Aptitude au fonctionnement des structures porteuses en bois

Le but premier d'une application de lamelles peut consister en un raidissement.

3.3 Séisme

3.3.1 Principe

3.3.1.1 Par une armature collée judicieusement disposée, on peut déplacer le mécanisme de rupture dans une zone de la structure présentant une plus grande capacité de déformation. On peut ainsi p.ex. éviter une rupture de cisaillement à faible déformation et la remplacer par un mécanisme de ruine de flexion ductile.

3.3.1.2 Des éléments de construction tels que des poteaux en béton armé peuvent être entourés d'une armature collée. On obtient ainsi un effet de confinement grâce auquel on peut atteindre une plus grande déformation de rupture et une plus grande résistance de l'élément de construction en béton armé.

3.3.2 Situation de projet Séisme

3.3.2.1 Lorsqu'on utilise de l'armature collée, le dimensionnement des structures porteuses avec comportement non ductile sera effectué avec le coefficient de comportement $q = 1,5$.

3.3.2.2 Lorsqu'on utilise de l'armature collée, le dimensionnement des structures porteuses avec comportement ductile sera effectué avec le coefficient de comportement $q = 3,0$. Dans les zones où des articulations plastiques peuvent se former, l'armature collée ne peut être utilisée que comme confinement ou comme étriers.

3.3.2.3 Pour la maçonnerie on utilisera les coefficients de comportement de la norme SIA 266. Pour le dimensionnement et les dispositions constructives on respectera le chiffre 3.3.3.2 ci-après. Si les briques et le mortier ne répondent pas aux exigences de la norme SIA 266, on contrôlera explicitement la reprise des forces de compression.

3.3.2.4 Pour les structures porteuses en bois on appliquera les coefficients de comportement de la norme SIA 265.

3.3.3 Dispositions constructives

3.3.3.1 Pour la construction en béton, les dispositions de la norme SIA 262 relatives aux confinements peuvent être appliquées par analogie, tout en respectant les règles ci-après:

- Au lieu des entraxes d'étriers on comptera les espacements libres des lamelles, ou on utilisera des tissés ou des non-tissés couvrant toute la surface.
- L'ancrage se fait généralement avec la longueur d'ancrage fonctionnelle l_{bd} .

3.3.3.2 Pour la construction en maçonnerie les dispositions de la norme SIA 266 relatives à la maçonnerie ductile peuvent être appliquées par analogie; pour le taux géométrique d'armature ρ on utilisera alors le rapport entre la section de l'armature ancrée dans les éléments contigus et la section de maçonnerie correspondante.

4 DISPOSITIONS CONSTRUCTIVES

4.1 Principes généraux

- 4.1.1 Le modèle de la structure porteuse doit être conçu constructivement de sorte que la disposition et l'ancrage des armatures collées concordent avec le modèle de calcul.
- 4.1.2 La disposition constructive de l'armature collée doit également tenir compte des conditions de montage.
- 4.1.3 Il est fondamental d'éviter les efforts de traction perpendiculaires au joint de collage. En présence de surfaces incurvées concaves ou de goussets, on prendra des mesures appropriées (p.ex. goujonnage).
- 4.1.4 Il faut accorder une attention toute particulière aux déviations de forces imprévues dues aux inégalités du support.

4.2 Dimensions

- 4.2.1 Afin d'assurer un fonctionnement conforme au modèle à l'état-limite ultime de résistance ainsi qu'un collage dans les règles de l'art, on respectera les dimensions maximales ou minimales suivantes pour les lamelles unidirectionnelles:

	lamelles en acier	lamelles en matériaux composites
épaisseur minimale	5 mm	1 mm
épaisseur maximale	15 mm	5 mm
largeur maximale	200 mm	200 mm

- 4.2.2 La distance minimale entre lamelles voisines sera choisie de manière que la colle puisse déborder latéralement lors de la mise en œuvre.

4.3 Ancrages et joints

- 4.3.1 Les armatures de cisaillement seront disposées de manière à entourer l'armature de traction. La transmission de la force d'étrier dans la zone comprimée fléchie devra être assurée.
- 4.3.2 Les joints éventuellement nécessaires seront placés dans des zones faiblement sollicitées.

4.4 Croisement de lamelles

- 4.4.1 Au croisement de lamelles on peut utiliser les mesures suivantes:
- fraisage du support pour la première couche de lamelles,
 - doublage du support pour la deuxième couche de lamelles (recharge ou épaisseur supplémentaire de colle),
 - pour les lamelles en acier, fraiser la première ou la deuxième couche de lamelles. Tenir compte des forces de déviation et des effets d'entaille.
- 4.4.2 Autres mesures possibles:
- combinaison d'une première couche de lamelles en matériaux composites avec une deuxième couche de lamelles en acier,
 - utilisation de tôles planes perforées,
 - utilisation de tissés ou de non-tissés.

4.5 Mesures constructives protectrices

Les mesures constructives suivantes permettent de protéger les lamelles:

- Préparation du support: rejets d'eau tels que gouttes pendantes, entailles fraisées ou dispositifs semblables permettant d'éloigner l'eau de la face inférieure des armatures collées.
- Préparation des lamelles: pour des lamelles en acier sur des surfaces verticales la stagnation d'eau peut être évitée en chanfreinant les surfaces horizontales.
- Revêtements: les revêtements protègent contre l'ensoleillement direct et les déprédations, mais n'apportent qu'une protection restreinte contre le feu.
- Enduits: les lamelles en acier doivent être protégées contre la corrosion conformément à la norme SN EN ISO 12944, selon le genre d'utilisation et la durée de service prévue. Sur la surface de collage c'est le primer lui-même qui doit assurer cette fonction.
- Peintures: les peintures de couleur claire permettent de limiter le réchauffement de l'armature collée exposée directement au rayonnement solaire.
- Inscriptions: des inscriptions peuvent limiter les dégâts dus à la négligence et à l'ignorance, mais peuvent inciter aux dégâts volontaires.

4.6 Mesures de protection contre l'incendie

- 4.6.1 Indépendamment de leur concept de dimensionnement, les lamelles en acier doivent être conçues de manière à les empêcher de tomber suite à une défaillance de la colle due à la chaleur (p.ex. par fixation goujonnée de chaque extrémité de la lamelle).
- 4.6.2 La capacité de résistance au feu d'éléments renforcés par armature collée peut être augmentée par des mesures de protection incendie.
- 4.6.3 Les mesures de protection incendie par isolation doivent être conçues en fonction de la température de service maximale de la colle et des déformations survenant en cas d'incendie.
- 4.6.4 Les forces agissant dans les lamelles en acier lors d'un incendie peuvent être transmises à l'élément de construction par des ancrages mécaniques. On appliquera alors les mesures de protection selon la norme SIA 263 et la recommandation SIA 179 pour l'acier et les ancrages mécaniques.

5 MATÉRIAUX

5.1 Système de renfort

5.1.1 Exigences

5.1.1.1 Les matériaux utilisés doivent satisfaire aux exigences fixées comme produits en eux-mêmes et comme éléments du système général.

5.1.1.2 Les différents matériaux devront être adaptés au support ainsi qu'être compatibles entre eux. Pour des sollicitations de courte et de longue durée ainsi que pour des éléments soumis à des vibrations, les principaux paramètres à évaluer sont:

- les propriétés mécaniques, chimiques et électrochimiques
- la dilatation thermique
- le comportement par température et/ou humidité élevées.

5.1.1.3 Les systèmes précontraints ne peuvent être utilisés que si leur aptitude a été prouvée par une procédure de certification technique et une évaluation de conformité selon normes SIA 262 et SIA 262/1. S'il n'existe pas de directive de certification spécifique, les prescriptions des normes précitées sont à appliquer par analogie.

5.1.2 Essais

5.1.2.1 On distingue les types d'essais suivants:

- Les essais préliminaires servent à caractériser les propriétés d'un matériau ou de l'ensemble d'un système de renfort, ainsi qu'à vérifier leur aptitude de base en vue des applications prévues (p.ex. essais en laboratoire).
- Les essais d'aptitude servent au contrôle de l'aptitude d'un matériau ou de l'ensemble d'un système de renfort dans des conditions d'utilisation spécifiques et dans le cadre du déroulement des travaux prévu.
- Les essais de qualité servent à contrôler la qualité exigée pendant et après l'exécution.

5.1.2.2 Il est fondamental de n'utiliser que des matériaux pour lesquels on dispose d'attestations provenant d'essais préliminaires ou de résultats d'essais d'aptitude.

5.1.2.3 Pour tester l'aptitude d'un matériau en vue d'une application spécifique, un essai d'aptitude sur des éléments de construction réels peut se révéler nécessaire.

5.1.2.4 Les essais de qualité nécessaires seront préalablement définis dans le plan des contrôles. L'étendue des essais se basera sur l'importance des mesures de renfort ainsi que sur le système de renfort adopté.

5.1.2.5 Pour les essais d'aptitude et de qualité on confectionnera au besoin des éprouvettes séparées, afin que l'essai puisse être exécuté avec les mêmes méthodes que l'essai préliminaire.

5.2 Armature collée

5.2.1 Armature collée en acier

5.2.1.1 CLASSIFICATION, DÉSIGNATION ET ESSAIS

5.2.1.1.1 La classification, la désignation ainsi que les essais et contrôles sont fixés dans les normes SIA 263 et SIA 263/1.

5.2.1.1.2 Pour les armatures collées on utilisera les aciers normaux de la nuance S 235. L'utilisation d'aciers de plus haute résistance et d'aciers alliés est subordonnée à des essais d'aptitude.

5.2.1.2 EXIGENCES

- 5.2.1.2.1 Les exigences sont fixées dans les normes SIA 263 et SIA 263/1. En outre on tiendra compte des exigences des chiffres 5.2.1.2.2 et 5.2.1.2.3.
- 5.2.1.2.2 Les éléments de renfort composés de plusieurs pièces d'acier peuvent être assemblés par soudure. Pour les soudures il faut avoir au moins la classe H4 de qualification des fabricants. Les cordons de soudure sont à attribuer à la classe de qualité C et à contrôler selon la norme SIA 263/1.
- 5.2.1.2.3 Des travaux de soudure sur des éléments d'acier déjà collés ne sont pas admis.
- 5.2.1.2.4 La surface d'acier à coller doit être nettoyée au degré de propreté Sa 2½. Immédiatement après, la surface sera protégée par une couche de primer compatible avec la colle utilisée et permettant le transfert des forces entre la colle et l'acier. L'exécution et le contrôle se feront selon la norme SN EN ISO 12944.

5.2.2 **Armature collée en fibres ou en matériaux composites**

5.2.2.1 GENRES ET SPÉCIFICATIONS

On distingue les genres suivants d'armatures collées en fibres ou en matériaux composites:

- les lamelles droites ou incurvées avec fibres continues unidirectionnelles
- les non-tissés à fibres non ou partiellement imprégnées
- les tissés à fibres non ou partiellement imprégnées.

5.2.2.2 EXIGENCES, ESSAIS ET CONTRÔLES

5.2.2.2.1 L'aptitude de l'armature collée doit être vérifiée. On précisera ceci:

- désignation du produit
- mode et durée maximale de l'entreposage
- limites climatiques pour l'utilisation comme moyen de renfort
- prescriptions de sécurité
- fibres utilisées y compris teneur volumique et confection du mélange
- propriétés mécaniques des fibres dans le sens longitudinal telles que résistance à la traction, module d'élasticité et allongement à la rupture
- propriétés mécaniques de l'élément de renfort telles que résistance à la traction, module d'élasticité, allongement à la rupture dans tous les sens porteurs prévus. Si dans le même sens porteur des fibres de différentes sortes sont mélangées, on donnera en plus le diagramme contrainte-déformation de l'élément de renfort
- rayons de courbure minimaux pour l'entreposage, le transport et le collage.

5.2.2.2.2 Les valeurs d'essai de la résistance à la traction correspondent aux fractiles 5% de la répartition normale de Gauss, les autres valeurs mécaniques aux moyennes correspondantes rapportées à la production totale.

5.3 Colle

5.3.1 Genres et désignations

Les colles utilisées seront en général des résines époxy avec ou sans ajout de quartz.

5.3.2 Exigences, essais et contrôles

5.3.2.1 L'aptitude de la colle doit être vérifiée. On précisera ceci:

- désignation du produit
- températures minimales et maximales de mise en œuvre (support et environnement)
- densité
- proportions pondérales du mélange y compris degré de précision exigé
- durée de préparation, durée d'application (pour la température maximale admissible de mise en œuvre)
- résistances à la compression, à la traction et à la traction de cisaillement
- module d'élasticité, coefficient de Poisson
- conditions à remplir par les surfaces des éléments à coller
- température maximale de service
- numéro de la charge
- mode et durée maximale de l'entreposage
- prescriptions de sécurité.

5.3.2.2 Les valeurs d'essai des résistances à la compression, à la traction et à la traction de cisaillement correspondent au fractile 5% de la répartition normale de Gauss, les autres valeurs mécaniques aux moyennes correspondantes rapportées à la production totale.

5.4 Matériaux auxiliaires

5.4.1 Mortiers de remise en état

5.4.1.1 On peut utiliser des mortiers de remise en état pour reprofiler les zones éclatées.

5.4.1.2 Pour le béton, la recommandation SIA 162/5 fixe la classification, les exigences et les essais. On utilisera des mortiers de remise en état de la classe M3.

5.4.2 Produits de nettoyage

Les produits de nettoyage doivent être adaptés aux matériaux utilisés.

5.4.3 Ancrages en acier

La classification, les exigences et les essais relatifs aux ancrages en acier sont donnés dans les normes SIA 263 et SIA 263/1.

5.4.4 Couches de protection et revêtements

On assurera la compatibilité à long terme des matériaux choisis pour des raisons de physique des constructions, de protection contre l'incendie ou pour des raisons architectoniques.

6 EXÉCUTION

6.1 Généralités

- 6.1.1 L'armature collée, la surface de collage ainsi que les sens porteurs seront marqués de manière à exclure toute possibilité d'erreur lors de l'exécution.
- 6.1.2 Le transport et l'entreposage des armatures collées s'effectueront de manière à empêcher les dommages dus aux intempéries, aux salissures ou aux influences mécaniques.

6.2 Evaluations et essais du support

- 6.2.1 Au début de l'exécution et selon les circonstances, il faut effectuer un relevé complémentaire de l'état et une évaluation de l'évolution de cet état. Pour les structures porteuses en béton on appliquera la recommandation SIA 162/5, pour les autres modes de construction on procédera par analogie.
- 6.2.2 La validité des hypothèses faites selon chiffre 2.1 est à contrôler.

6.3 Préparation du support

6.3.1 Etat de la surface

- 6.3.1.1 La surface du support doit être telle que la colle l'épouse et y adhère parfaitement.
- 6.3.1.2 Tous les résidus de graisse, d'huile ou de saleté doivent être éliminés du support.
- 6.3.1.3 Pour éliminer les couches minérales peu solides, on dispose des procédés figurant au tableau 6. Le choix du procédé dépend entre autres de la forme et de la grandeur de l'objet ainsi que des conditions environnementales.
- 6.3.1.4 Les résidus de poussière, de particules diverses et de boue doivent être éliminés des pores et des cavités du support (p.ex. au moyen d'un aspirateur industriel).
- 6.3.1.5 Le taux d'humidité maximal dans les 10 mm supérieurs du support doit être inférieur à 4% (de la masse), à moins que la colle utilisée n'autorise des valeurs plus élevées.
- 6.3.1.6 On ne collera rien directement sur les armatures internes.

6.3.2 Planéité

- 6.3.2.1 Pour les lamelles en acier rigides, le défaut de planéité du support peut entraîner des défauts de collage. En raison de leur faible rigidité propre, les lamelles, les tissés et les non-tissés en matériaux composites suivent bien les surfaces incurvées et exercent des forces de déviation lors de sollicitations de traction.

Les défauts de planéité de la surface du support ne dépasseront pas les valeurs suivantes (pointages sous une latte de longueur correspondante):

- 5 mm sur une longueur de 2000 mm,
- 1 mm sur une longueur de 300 mm.

- 6.3.2.2 Si la planéité exigée du support ne peut pas être atteinte par décapage on prévoira des couches d'égalisation compatibles garantissant une parfaite transmission des forces.

6.3.2.3 Si l'on doit passer par-dessus des arêtes vives, celles-ci devront être préparées de façon que les rayons minimaux exigés pour l'armature collée soient respectés.

6.3.3 **Reprofilages, égalisations, ponts d'adhérence sur les supports minéraux**

6.3.3.1 Les mortiers de remise en état ou les mortiers de collage enrichis de sable de quartz peuvent être utilisés pour reprofiler les éclats, les creux et les petites dépressions.

6.3.3.2 La rugosité superficielle du mortier de reprofilage doit permettre à la colle d'épouser la surface du support.

6.3.3.3 La préparation du support et la cure du mortier de reprofilage seront planifiées et exécutées conformément au système.

6.3.3.4 Les restes de laitance et autres salissures doivent être éliminés de la surface reprofilée.

6.3.3.5 Les ponts d'adhérence seront exécutés selon les indications du fournisseur du système.

6.3.3.6 Les temps d'attente exigés par le système avant l'exécution d'autres étapes de travail doivent être respectés.

Tableau 6 Aperçu des procédés les plus utilisés pour la préparation des supports minéraux

Procédé	Effet	Mesures auxiliaires
Sablage (projection d'air comprimé avec particules solides)	Rend rugueuse la surface de la matrice du liant et des granulats proches de la surface.	
Grenaillage (projection catapultée)	Produit une surface à grain fin sur des plans horizontaux ou légèrement inclinés.	
Sablage par voie humide	Rend rugueuse la surface de la matrice du liant et des granulats proches de cette surface.	Tenir compte du temps de séchage avant l'application de la colle.
Microjet (à basse pression et avec très peu d'eau)	Rend légèrement rugueuse, pratiquement sans poussière, la surface de la matrice du liant et des granulats proches de la surface.	Tenir compte du temps de séchage avant l'application de la colle.
Jet d'eau à très haute pression	Produit un support à granulats arrondis.	Tenir compte du temps de séchage avant l'application de la colle.
Pistolet à aiguilles et humidification	Produit un support à granulats brisés. Particulièrement indiqué pour les endroits peu accessibles et les petites surfaces.	Tester la désagrégation du support.
Meulage	Elimine modérément la peau de ciment pour mettre à nu la matrice du béton.	

6.4 Montage

6.4.1 Personnel

6.4.1.1 L'entreprise exécutante doit disposer d'un responsable qualifié. Celui-ci doit être présent durant tous les travaux qui peuvent avoir une influence sur la qualité finale.

6.4.1.2 Le personnel technique et auxiliaire doit disposer d'une formation et d'une expérience suffisantes en matière de collage d'armature.

6.4.2 Protection du lieu de travail

6.4.2.1 Le lieu de travail doit être protégé des influences extérieures (humidité, poussière, chaleur, froid, courants d'air, vibrations, etc.) pouvant porter préjudice à la qualité.

6.4.2.2 La mise en charge de la zone renforcée ne peut avoir lieu que lorsque la colle a atteint sa résistance nominale, mais au plus après 48 heures.

6.4.3 Conditions climatiques

6.4.3.1 Par des mesures appropriées, on veillera à ce que la température maximale et minimale de mise en œuvre de la colle dans l'armature collée, dans la colle et dans les zones adjacentes du support soit assurée pendant toute la durée de durcissement.

6.4.3.2 La température de la surface des lamelles sera supérieure d'au moins 3 °C au point de rosée.

6.4.4 Préparation de l'armature à coller

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

6.4.4.2 L'application du primer sur les lamelles en acier selon chiffre 5.2.1.2.4 ainsi que le meulage de la matrice des laminés se font en général à l'usine.

6.4.5 Montage de l'armature collée

6.4.5.1 Pour obtenir une surface de collage complètement remplie la colle sera appliquée de telle manière qu'aucune bulle d'air ne puisse s'y introduire.

6.4.5.2 Il est nécessaire d'exercer une pression pour la mise en place de l'armature collée. Pour les lamelles en acier, cette pression doit être maintenue jusqu'à ce que la colle ait durci. Pour les lamelles en matériaux composites, il suffit en général d'une seule pression avec un rouleau en caoutchouc dur.

6.4.5.3 On obtient une épaisseur uniforme de la couche de colle lorsque celle-ci déborde des deux côtés de la lamelle lors de la pression.

7 GESTION DE LA QUALITÉ

7.1 Généralités

Les bases pour la gestion de la qualité sont données dans la fiche technique SIA 2007.

7.2 Planification de la qualité

7.2.1 Dans la convention de gestion de la qualité les points suivants doivent être réglés:

- étendue, fréquence et lieu des essais exigés
- données de base pour les procès-verbaux y relatifs
- exigences relatives au support
- mesures à prendre si les propriétés exigées ne sont pas atteintes
- répartition des responsabilités.

7.2.2 Les hypothèses faites lors du dimensionnement doivent être en harmonie avec les exigences mentionnées dans la convention de gestion de la qualité.

7.2.3 Le projet définira quelles qualifications les entreprises doivent présenter pour que les travaux prévus leur soient confiés. Les entreprises doivent maintenir un système d'assurance qualité qui règle en particulier l'acquisition et la conservation des connaissances spécialisées et la garantie des essais exigés.

7.2.4 La mise au concours et l'adjudication doivent être programmées pour qu'une étude irréprochable de l'offre soit possible et que les procédures à appliquer dans le cadre des négociations techniques puissent être fixées avant l'adjudication.

7.3 Documentation de la gestion de la qualité propre au projet

7.3.1 Avant le début des travaux, on devra disposer des indications suivantes:

- choix des matériaux et des produits
- valeurs prescrites pour les propriétés mécaniques de la colle et des lamelles.

7.3.2 Les résultats des essais prévus au chapitre 5 (matériaux) seront récapitulés objet par objet; en particulier:

- la vérification de la traçabilité des produits utilisés
- les procès-verbaux des mesures prescrites dans le plan des essais et contrôles.

7.3.3 Tous les intervenants doivent disposer de la formation et des connaissances spécialisées nécessaires pour accomplir un travail de qualité parfaite. La qualification des collaborateurs engagés et leurs tâches seront documentées.

7.4 Conduite de la qualité sur le chantier

7.4.1 Support

7.4.1.1 L'étendue des essais et contrôles sera choisie de façon à obtenir des renseignements suffisants sur la qualité du support.

7.4.1.2 On prêtera une attention particulière à l'étude des endroits critiques tels que les zones d'ancrage.

- 7.4.1.3 La qualité de la préparation du support sera vérifiée à partir d'essais de traction d'adhérence selon DIN 1048, partie 2. Pour l'emplacement et le nombre de ces essais, il est recommandé de prendre en considération les points suivants:
- éléments de construction différents,
 - déroulement chronologique des travaux,
 - au moins un essai par 20 m de longueur de lamelles.

7.4.1.4 Pour les structures porteuses en béton, la résistance à la traction d'adhérence sera contrôlée et évaluée selon la recommandation SIA 162/5, et pour les autres modes de construction par analogie. Avant de coller le sceau d'essai Ø 50 mm, la surface d'essai sera délimitée par une rainure circulaire pénétrant d'au moins 5 mm dans le support.

7.4.1.5 Les valeurs mesurées des essais de traction d'adhérence devront atteindre les valeurs fixées dans le plan des essais et contrôles, cependant au moins 1,5 N/mm². Les valeurs mesurées sont à consigner dans un procès-verbal.

7.4.2 **Conditions climatiques**

7.4.2.1 Les conditions climatiques régnant durant l'exécution des travaux et la période de durcissement seront mesurées et consignées dans un procès-verbal.

7.4.2.2 Si les conditions climatiques ne sont pas appropriées pendant les travaux et s'il n'est pas assuré qu'elles régneront pendant le temps de durcissement, il est interdit d'exécuter des travaux de collage.

7.4.2.3 Les valeurs suivantes seront mesurées et notées au moins deux fois par jour avant et pendant la mise en œuvre et le temps de durcissement:

- température du support
- température de l'air à l'emplacement des travaux
- humidité relative de l'air.

7.4.3 **Mélange de la colle**

Si l'on ne mélange qu'une partie de la colle, on respectera les conditions suivantes:

- peser les composants effectifs du mélange au moyen d'une balance étalonnée en tenant compte des pertes lors du transvasage;
- respecter les conditions du mélange avec la tolérance fixée dans la description du produit;
- protocoler les pesages effectués;
- déterminer les résistances à la traction par flexion et à la compression sur cube;
- protocoler le lieu de mise en œuvre du mélange considéré.

7.4.4 **Essais de la colle**

Si les composants de la colle sont pesés sur le chantier, on prescrira dans le plan des essais et contrôles les essais de qualité mentionnés au chiffre 7.4.3. Dans tous les autres cas il est recommandé pour les travaux importants d'effectuer des essais par échantillonnage.

7.4.5 **Garnissage de la surface de collage**

7.4.5.1 Le garnissage complet de la surface de collage peut être vérifié par contrôle de la colle sortant latéralement.

7.4.5.2 Après durcissement de la colle, on contrôlera l'absence de vides en frappant la surface.

7.4.6 **Essai des propriétés du primer**

Pour les lamelles en acier il est recommandé de prévoir dans le plan des essais et contrôles les essais suivants:

- essai de traction d'adhérence
- essai de traction de cisaillement.

8 PROTECTION ET SÉCURITÉ

8.1 Généralités

L'Ordonnance sur la prévention des accidents et des maladies professionnelles (OPA) est à respecter. Les chapitres suivants complètent ou précisent ces prescriptions.

8.2 Protection contre les agents agressifs

8.2.1 Pour renforcer des structures porteuses avec des éléments collés, on utilise des résines synthétiques et des solvants qui peuvent avoir avant et durant les travaux des effets nuisibles sur les personnes et sur l'environnement. Toutes les personnes participant à la mise en œuvre de ces produits devront connaître et observer les fiches de données de sécurité s'y rapportant. Les emballages des produits portent des instructions pour l'entreposage, le transport et le mode d'application du contenu. On respectera ces prescriptions ainsi que les lois et ordonnances qui s'y rapportent.

8.2.2 En cas d'utilisation de résines synthétiques et de solvants, on évitera le contact avec la peau des liquides, des gaz, des vapeurs ainsi que des matières solides (poussières). On utilisera à cet effet des gants de protection étanches et des survêtements régulièrement nettoyés. Pour l'exécution de travaux au-dessus de la tête, on se couvrira la tête. Les parties du corps non protégées peuvent être traitées avec une crème de protection de la peau qui sera appliquée avant le début du travail et après chaque lavage.

8.2.3 Lors de travaux avec des résines synthétiques et des solvants on évitera tout contact avec les yeux. On portera toujours des lunettes de protection, également lors du nettoyage des outils.

8.2.4 On évitera d'inhaler des vapeurs et des poussières. Des cloches d'aspiration seront installées aussi près que possible des sources de vapeurs ou de poussières. Si cela n'est pas possible, on portera des masques respiratoires. Tous les récipients contenant des résines, des durcisseurs, des nettoyeurs et des solvants seront immédiatement refermés après usage.

8.2.5 On évitera l'absorption de résines par la bouche. On s'abstiendra de fumer, de manger ou de boire dans les locaux où l'on utilise de tels produits (locaux de travail et locaux de remplissage). Avant de manger, on se lavera soigneusement les mains.

8.3 Protection contre les chutes

Les dispositions de l'Ordonnance sur la sécurité et la protection de la santé des travailleuses et des travailleurs dans les travaux de construction (OTConst) seront respectées.

8.4 Protection contre le bruit

Si lors de l'exécution des travaux il n'est pas possible par des mesures techniques ou d'organisation d'abaisser les nuisances sonores au-dessous de la valeur limite des directives de l'OPA sur les valeurs admissibles des agents physiques, on portera des protections auditives appropriées.

8.5 Protection des eaux

Les lois et ordonnances y relatives de la Confédération, des cantons et des communes doivent être respectées.

Sigles des organisations représentées dans le groupe de travail 162-8

EPFL	Ecole polytechnique fédérale de Lausanne
ETHZ	Eidgenössische Technische Hochschule Zürich
EMPA	Laboratoire fédéral d'essai des matériaux et de la recherche

Groupe de travail SIA 162-8 Armatures collées

Président	Thomas Vogel, prof., ing. civil dipl. EPF, Zurich	EPFZ
Membres	Robert Bossart, ing. civil dipl. EPF, Zurich	Entreprise
	Dr Eugen Brühwiler, prof., ing. civil dipl. EPF, Lausanne	EPFL
	Dr Martin Deuring, ing. civil dipl. EPF, Winterthour	Etude des projets
	Dr Marc Ladner, prof., ing. civil dipl. EPF, Uster	Consultant
	Hans Ulrich Reber, ing. civil dipl. ETS, Zurich	Entreprise
	Dr René Suter, prof., ing. civil dipl. EPF, Fribourg	HES
	Dr Tomaz Ulaga, ing. civil dipl. EPF, Zurich	EMPA/EPFZ

Adoption et entrée en vigueur

La Commission centrale des normes et règlements de la SIA a adopté la présente prénorme SIA 166 le 2 septembre 2003.

Elle entre en vigueur le 1^{er} janvier 2004.

Copyright © 2004 by SIA Zurich

Tous les droits de reproduction, même partielle, de copie, intégrale ou partielle (photocopie, microcopie, CD-ROM, etc.), d'enregistrement sur ordinateur et de traduction sont réservés.