

**Société suisse des
ingénieurs et des architectes**



**Recommandation
Édition 1999**

162/6

Béton renforcé de fibres métalliques

**Terminologie
Principes
Calcul et dimensionnement
Matériaux
Exécution
Sécurité au travail
Prestation et métré**

Éditeur:
Société suisse des ingénieurs et des architectes
Case postale, 8039 Zurich

PRÉFACE

La présente recommandation se réfère en priorité à des expériences faites avec le béton projeté renforcé de fibres métalliques. Elle postule et encourage l'élargissement des connaissances, lesquelles pourraient justifier une précision ou une modification de certaines indications.

Dans la combinaison du béton armé et du béton précontraint avec les fibres métalliques, il existe un potentiel de développement pour la recherche et la pratique.

Pour les structures porteuses en béton renforcé de fibres métalliques, les vérifications de la sécurité structurale et de l'aptitude au service doivent être effectuées. On admet que le comportement de ces structures est ductile. Cette exigence est vérifiée si les conditions très restrictives indiquées dans les chiffres 3 13 et 3 14 sont respectées. Une dérogation à ces conditions n'est admissible que dans l'esprit indiqué dans le chiffre 0 3 de la présente recommandation.

Groupe de travail «Béton renforcé de fibres métalliques»
Commission SIA 162

TABLE DES MATIÈRES

		Page			Page
0	Champ d'application	4	5	Exécution	15
0 1	Délimitation	4	5 1	Traitement.....	15
0 2	Autres dispositions applicables	4	5 2	Traitement de cure	15
0 3	Déroptions	4			
			6	Sécurité au travail	16
	PARTIE TECHNIQUE				
1	Terminologie.....	5		PARTIE ADMINISTRATIVE	
1 1	Termes spécifiques	5	7	Prestation et métré	17
1 2	Notations	6	7 1	Unité de mesure	17
			7 2	Mise en soumission et offre	17
2	Principes	7	7 3	Essai de convenance	17
2 1	Généralités.....	7	7 4	Contrôle de qualité.....	17
2 2	Propriétés du béton renforcé de fibres métalliques	7	7 5	Décompte.....	18
2 3	Utilisation du béton renforcé de fibres métalliques	8			
				Annexe: Essais sous l'action d'une charge	
3	Calcul et dimensionnement.....	9	A 1	Généralités	19
3 1	Généralités.....	9	A 2	Éprouvettes	19
3 2	Sécurité structurale.....	9	A 3	Exécution de l'essai.....	19
3 3	Aptitude au service	10	A 4	Évaluation des résultats.....	20
4	Matériaux.....	11		Adoption et entrée en vigueur.....	24
4 1	Classification et désignation	11			
4 2	Composants.....	11			
4 3	Fabrication	12			
4 4	Essais et contrôles	13			

0 CHAMP D'APPLICATION

0 1 Délimitation

La présente recommandation vise à une application du béton renforcé de fibres métalliques conforme aux règles de l'art; elle contient des indications relatives au dimensionnement, au choix des matériaux et à l'exécution.

0 2 Autres dispositions applicables

Cette recommandation renvoie aux normes de la SIA énumérés ci-après. Ceux-ci s'appliquent en tout ou partie selon la forme du renvoi.

- Norme SIA 162 *Ouvrages en béton*
- Norme SIA 162/1 *Ouvrages en béton – Essais des matériaux*
- Norme SIA 215.002 *Ciment – Composition, spécifications et critères de conformité*

0 3 Dérogations

Des dérogations à la présente recommandation sont admissibles si elles sont justifiées par la théorie ou des essais suffisamment fondés ou si de nouveaux développements le justifient.

PARTIE TECHNIQUE

1 TERMINOLOGIE

1.1 Termes spécifiques

Dans la présente recommandation, on utilise les termes spécifiques au béton renforcé de fibres métalliques suivants.

Béton projeté renforcé de fibres métalliques <i>Stahlfaserspritzbeton</i>	Béton renforcé de fibres métalliques qui est mis en place par projection par voie sèche ou par voie mouillée.
Béton renforcé de fibres métalliques <i>Stahlfaserbeton</i>	Béton qui a une teneur en fibres métalliques d'au moins 20 kg/m ³ .
Cohésion du béton frais <i>Grünstandfestigkeit</i>	Cohésion du béton avant le début de l'hydratation.
Diamètre équivalent <i>Äquivalenter Durchmesser</i>	Diamètre de la fibre déterminé sur la base de la surface de sa section: $d_f = \sqrt{4 A_f / \pi}$
Dosage en fibres <i>Faserdosierung</i>	Quantité de fibres métalliques ajoutée au béton malaxé.
Energie de rupture <i>Bruchenergie</i>	Energie absorbée par unité de surface pour ouvrir complètement une fissure.
Facteur de forme <i>Formfaktor</i>	Rapport: l_f / d_f
Fibres métalliques <i>Stahlfasern</i>	Morceaux de métal allongés qui sont spécialement fabriqués pour être mélangés au béton.
Perte de fibres <i>Faserverlust</i>	Perte de fibres métalliques par ricochet du béton projeté.
Puissance de dissipation <i>Arbeitsvermögen</i>	Propriété de dissiper de l'énergie par des déformations irréversibles.
Puissance de dissipation nominale <i>Nominelles Arbeitsvermögen</i>	Puissance de dissipation mesurée, lors d'un essai de charge, pour une valeur donnée du déplacement.
Recette initiale <i>Entwurfsmischung</i>	Recette qui remplit les exigences fixées par l'auteur du projet et dont la responsabilité est assumée par l'entrepreneur.
Recette prescrite <i>Vorgeschriebene Mischung</i>	Recette définie par l'auteur du projet dont l'entrepreneur a la responsabilité qu'elle soit respectée.
Résistance effective à la traction par flexion <i>Wirksame Biegezugfestigkeit</i>	Valeur de la résistance à la traction par flexion calculée à partir de la puissance de dissipation nominale en admettant une répartition rigide idéal plastique des contraintes.

Résistance précoce du béton
(résistance aux jeunes âges)
Frühfestigkeit

Résistance du béton dans les premières heures après la mise
en place du béton frais.

Teneur en fibres
Fasergehalt

Teneur en fibres métalliques dans le béton réellement en
place.

1 2 Notations

Les notations utilisées dans cette recommandation correspondent à celles de la norme SIA 162.
Les notations spécifiques au béton renforcé de fibres métalliques sont :

A_f	surface de la section d'une fibre [mm^2]
C_f	teneur en fibres [kg/m^3]
G_f	valeur de calcul de l'énergie de rupture [N/m]
W	puissance de dissipation nominale
d_f	diamètre de la fibre [mm]
f_{ctf}	valeur de calcul de la résistance effective à la traction par flexion [N/mm^2]
h_0	épaisseur de l'échantillon [mm]
l_f	longueur de la fibre [mm]
m_f	masse volumique des fibres [kg]
n	nombre des fissures de rupture lors d'un essai de plaque [-]
w	déformation, flèche [mm]
y	distance entre la fissure de rupture et l'appui le plus proche dans l'essai de résistance à la traction par flexion [mm]

2 PRINCIPES

2 1 Généralités

Les principes d'élaboration du projet et de l'exécution indiqués dans la norme SIA 162 sont aussi valables par analogie pour le béton renforcé de fibres métalliques.

2 2 Propriétés du béton renforcé de fibres métalliques

2 21 Les propriétés du béton renforcé de fibres métalliques lors de la fabrication, de la mise en place et à l'état durci dépendent principalement de la qualité du béton, de la teneur en fibres, du type de fibres et de la qualité de l'exécution.

2 22 À la différence du béton armé, le béton renforcé de fibres métalliques a une structure d'armature tridimensionnelle et finement répartie. Par ce moyen, les zones proches de la surface et les arêtes sont aussi armées et possèdent une meilleure résistance aux actions mécaniques. Pour le béton projeté renforcé de fibres métalliques, il convient de tenir compte du chiffre 5 17.

2 23 Ce qui caractérise le béton renforcé de fibres métalliques en comparaison du béton non armé est son comportement plus ductile. Il est caractérisé par la résistance effective à la traction par flexion f_{ctf} et par la valeur de calcul de l'énergie de rupture G_r .

2 24 Les fibres métalliques peuvent empêcher une rupture fragile du béton en continuant à transmettre les forces à travers les fissures même après leur formation. Pour des raisons de mise en place, une armature minimale selon la norme SIA 162 ne peut généralement pas être atteinte; c'est pour cette raison qu'après la fissuration, on observe une diminution de la charge pour chaque augmentation unitaire du déplacement (phénomène d'amollissement).

2 25 En règle générale, les éléments de construction en béton renforcé de fibres métalliques se rompent par arrachement des fibres hors du béton. Outre ce comportement souhaité, on peut, dans certains cas spéciaux, (fibres ayant un élanement élevé ainsi que dans le cas de béton à haute résistance) observer une rupture des fibres.

2 26 La plus grande solidité du béton renforcé de fibres métalliques peut agir favorablement dans le cas de sollicitations cycliques et en particulier lors d'actions résultant de chocs.

2 27 Si on garantit une fraction des fines appropriée, (par exemple par addition de fumées de silice), l'adhérence entre les fibres et le béton, la liaison du béton à son support (dans le cas du béton projeté renforcé de fibres métalliques), la durabilité et (pour une recette de béton optimale) la pompabilité du béton peuvent être améliorées; de plus, pour le béton projeté renforcé de fibres métalliques, la perte de fibres peut également être réduite (voir aussi chiffre 5 14 26 de la norme SIA 162).

2 28 La cohésion du béton frais et la résistance précoce du béton peuvent être augmentées par l'addition de fibres métalliques.

2 29 Les fibres métalliques peuvent contribuer à limiter la largeur des fissures dues au retrait précoce.

2 3 Utilisation du béton renforcé de fibres métalliques

2 31 Le béton renforcé de fibres métalliques mis en place dans un coffrage est utilisé principalement pour les sols industriels, les routes, les pistes d'aéroport et les éléments préfabriqués (par exemple voussoirs et tuyaux).

Le béton projeté renforcé de fibres métalliques est utilisé principalement dans le génie civil et les travaux souterrains comme mesures de protection ou de stabilisation ainsi que pour la remise en état d'éléments porteurs en béton. Le béton renforcé de fibres métalliques est recommandé dans les travaux souterrains comme mesure de protection de la calotte ("Kopfschutz") ou de soutènement à l'avancement en remplacement ou complément du béton projeté et des treillis d'armature.

2 32 L'utilisation du béton renforcé de fibres métalliques peut être judicieuse pour beaucoup d'autres applications par exemple pour des socles d'appui de machines, des zones comprimées provoquées par la flexion, des poteaux en compression, des zones d'introduction de force, des pieux en béton etc.

3 CALCUL ET DIMENSIONNEMENT

3 1 Généralités

3 11 Pour les structures en béton renforcé de fibres métalliques, on effectuera une vérification de la sécurité structurale et une vérification de l'aptitude au service.

3 12 On peut renoncer à l'une des deux vérifications si on peut montrer que les exigences correspondantes ont une importance secondaire ou si elles peuvent être remplies par des mesures constructives ou liées à la technique d'exécution. Le processus choisi doit être, dans tous les cas, mentionné et justifié dans le plan de sécurité et dans le plan d'utilisation.

3 13 Le béton renforcé de fibres métalliques, pour lequel la condition

$$2F_1 w_1 \geq W_1$$

n'est pas remplie, ne peut pas être utilisé pour des applications exigeant un dimensionnement selon le chiffre 3 2 ou 3 3.

F_1 : force mesurée dans l'essai sous l'action d'une charge pour la déformation w_1 (voir figure 2 de l'annexe)

w_1 : déformation selon le tableau 2 de l'annexe

W_1 : puissance de dissipation nominale selon le tableau 2 de l'annexe.

3 14 Le béton renforcé de fibres métalliques doit en général respecter la condition

$$G_f \geq 4000 \text{ N/m}$$

G_f : valeur de calcul de l'énergie de rupture selon le chiffre A4 2

3 2 Sécurité structurale

3 21 Les sollicitations internes peuvent être obtenues par la théorie d'élasticité où à partir de considérations d'équilibre. Pour des actions permanentes ou un potentiel de risque élevés, il faut en général effectuer une vérification des déformations en accordant une attention particulière au phénomène d'amollissement caractérisant le comportement du béton renforcé de fibres métalliques (voir figure 2).

3 22 Le facteur de résistance vaut généralement $\gamma_R = 1.2$. Une augmentation substantielle de ce facteur peut être nécessaires si, pour des raisons de fabrication ou d'exécution, des insécurités existent en ce qui concerne les performances pouvant être obtenues ou la précision des quantités ou si le nombre d'essais servant à déterminer la valeur de calcul de f_{ctf} ne correspond pas aux conditions fixées dans le chiffre A4 2.

3 23 La valeur de calcul de la résistance à la compression f_c est déterminée conformément à la norme SIA 162.

3 24 La valeur de calcul de la résistance effective à la traction pour flexion f_{ctf} est déterminée conformément au chiffre A4 2.

3 25 Si l'épaisseur de l'élément d'ouvrage h dépasse l'épaisseur de l'éprouvette h_0 , f_{ctf} doit être réduit par le facteur $\sqrt{h_0 / h}$.

3 26 Pour des sollicitations de courte durée et un potentiel de risque réduit, il est admissible d'augmenter f_{ctf} de 20%.

- 3 27 Dans les cas de flexion simple ou composée d'effort normal, la résistance ultime de la section est déterminée sur la base de la répartition des contraintes indiquée dans la figure 1.

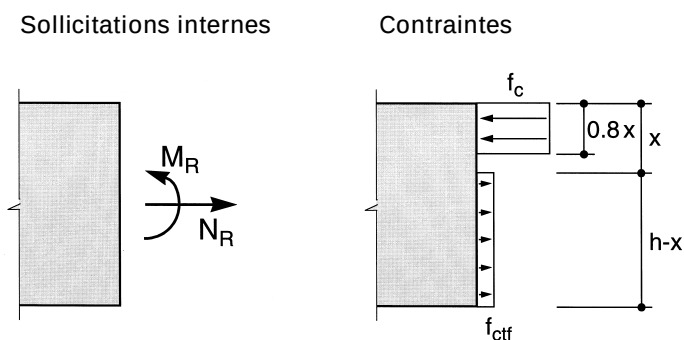


Figure 1

- 3 28 Le dimensionnement à l'effort tranchant doit être effectué conformément au chiffre 3 25 3 de la norme SIA 162. Une augmentation de la résistance ultime peut être prise en considération si elle est vérifiée par des essais.
- 3 3 Aptitude au service
- 3 31 Les sollicitations internes peuvent être obtenues en admettant un comportement élastique de la structure porteuse.
- 3 32 Pour le calcul des déformations, on utilisera les valeurs de calcul indiquées au chiffre 5 18 de la norme SIA 162. Des valeurs plus favorables sont à justifier par des essais.
- 3 33 Si aucune investigation plus précise est à disposition, les valeurs de calcul des contraintes centrées de traction ne peuvent pas dépasser la valeur de $2f_{ctf}/3$; dans les cas de flexion simple, des contraintes de traction à l'arête égales à $2f_{ctf}$ sont admissibles.
- 3 34 Suivant les conditions environnantes et la qualité du béton, des mesures particulières sont nécessaires pour assurer la durabilité et le confort de l'utilisateur.

4 MATÉRIAUX

4 1 Classification et désignation

4 11 Le béton renforcé de fibres métalliques est utilisé comme béton mis en place dans un coffrage (BCFM) ou comme béton projeté renforcé de fibres métalliques (BPFM).

4 12 Pour le béton renforcé de fibres métalliques mis en place dans un coffrage, on distingue le béton renforcé de fibres métalliques, le béton armé renforcé de fibres métalliques et le béton précontraint renforcé de fibres métalliques.

4 13 La désignation du béton contient les indications suivantes :

- type de béton
- sorte de ciment et dosage minimal
- spécification des fibres et teneur en fibres (dans le cas de recette prescrite) ou résistance effective à la traction par flexion f_{ctf} (dans le cas de recette initiale) resp. valeur de calcul de l'énergie de rupture G_f (dans le cas de recette initiale)
- diamètre maximum des granulats (d_{max})
- toutes autres propriétés particulières exigées.

Exemples :

Béton renforcé de fibres métalliques
BCFM 40/30

CEM I ... kg/m³
Type de fibres / $l_f = \dots$ mm / $d_f = \dots$ mm / ... kg/m³

Béton projeté renforcé de fibres métalli-

ques
BPFM 40/30
CEM I ... kg/m³

ou:

$f_{ctf} = \dots$ N/mm²

resp.

$G_f = \dots$ N/m

$d_{max} = \dots$ mm

résistant au sel de déverglaçage

$f_{ctf} = \dots$ N/mm²

resp.

$G_f = \dots$ N/m

$d_{max} = \dots$ mm

résistant au gel

4 14 Pour la désignation des sortes de béton, les classes de résistances indiquées au chiffre 5 12 1 de la norme SIA 162 sont valables.

4 15 La teneur minimale en ciment se rapporte à 1 m³ de béton en place pour le béton mis en place dans un coffrage et le béton projeté par voie mouillée et à 1 m³ de mélange à sec constitué des granulats, du ciment, des fibres métalliques et des additifs pour le béton projeté par voie sèche.

4 2 Composants

4 21 Les ciments portlands définis dans la norme SIA 215.002 sont recommandés. Si pour des objectifs particuliers un autre ciment est prévu, sa convenance doit être prouvée par des essais préliminaires systématiques et concluants.

4 22 Les granulats utilisés seront conformes aux dispositions de la norme SIA 162. Une forme de grain arrondie et sphérique naturellement est particulièrement avantageuse pour la fraction ≤ 2.0 mm. La fraction fine des granulats (y. c. le ciment) est déterminée conformément au chiffre 5 14 26 de la norme SIA 162.

- 4 23 Usuellement, les granulats utilisés ont un diamètre maximum de 16 mm. Pour le béton projeté renforcé de fibres métalliques, une limitation du diamètre à 8 mm est recommandée. Pour des teneurs en fibres élevées, respectivement pour des fibres présentant un facteur de forme élevé, une limitation du diamètre à 4 mm peut être nécessaire.
- 4 24 L'eau de gâchage doit respecter les dispositions indiquées au chiffre 5 14 3 de la norme SIA 162.
- 4 25 Les adjuvants et les ajouts doivent respecter les dispositions indiquées au chiffre 5 14 4 de la norme SIA 162. Dans la présente recommandation, les fibres métalliques ne sont pas considérées comme des additifs au béton dans le sens de la norme SIA 162.
- 4 26 Les fibres métalliques sont généralement caractérisées par leur marque de produit. Le fabricant doit donner les indications suivantes :
- mode de fabrication
 - présentation des fibres à la livraison (individuelles, accolées)
 - géométrie de la fibre (diamètre resp. diamètre équivalent d_f , longueur l_f , forme, propriétés particulières et tolérances)
 - résistance à la traction.
- 4 27 La surface des fibres doit être exempte de rouille et de matières qui pourraient diminuer la liaison d'adhérence entre la fibre et le béton durci. Les traitements de surface des fibres peuvent influencer les propriétés du béton renforcé avec des fibres métalliques.

4 3 Fabrication

- 4 31 La composition du béton doit être établie sur la base d'un calcul de proportions des composants. À cet effet, le poids volumique des fibres métalliques sera admis égal à 7850 kg/m³.
- 4 32 La teneur minimale exigée des fibres métalliques pour une application déterminée dépend du type et de la géométrie des fibres.
- 4 33 Les consignes de malaxage doivent comprendre, en plus de la composition (ou recette) du béton, des indications sur le type et la quantité des fibres métalliques ainsi que sur la durée de malaxage et l'instant où les fibres sont ajoutées; ces indications se réfèrent en général aux résultats des essais préliminaires.
- 4 34 Les fibres métalliques sont ajoutées sur la base de leur poids avec une tolérance de pesage de $\pm 3\%$.
- 4 35 Pour le processus de malaxage, les dispositions du chiffre 5 15 6 de la norme SIA 162 sont applicables sous réserve des exceptions et compléments suivants :
- La durée de malaxage du béton frais renforcé de fibres métalliques doit être, pour chaque gâchée, au moins de deux minutes comptées dès l'introduction de tous les composants. Pour des durées de malaxage plus courtes, il faut démontrer qu'une répartition homogène est garantie.
 - L'ajout de fibres métalliques dans le camion malaxeur n'est possible que dans des cas exceptionnels. Dans ces cas, il faut respecter un temps de malaxage d'une minute par m³, mais au minimum de cinq minutes. Dans le cas d'addition de grandes quantités de fibres, il peut s'avérer nécessaire d'augmenter les temps de malaxage indiqués.
 - Les temps de malaxage trop longs sont à éviter, car particulièrement pour les teneurs en fibres métalliques élevées, il existe un danger de formation de pelotes de fibres.
 - Lors de l'utilisation de bandes de fibres métalliques accolées, le temps de malaxage est choisi de telle façon que la séparation des fibres soit garantie.

- 4 36 Pour garantir qu'il n'y ait pas de ségrégation, l'étalement mesuré après l'addition des fibres métalliques et des fluidifiants ne devrait, en principe, pas dépasser la valeur de 550 mm.
- 4 37 Pour la fabrication de béton renforcé de fibres métalliques avec des adjuvants entraîneurs d'air, on tiendra compte de l'influence exercée par les fibres métalliques sur la structure des pores.

4 4 Essais et contrôles

- 4 41 Lors de l'élaboration du projet, de l'exécution et durant l'utilisation de l'ouvrage, les mesures indiquées dans le tableau 1 doivent être prévues. En ce qui concerne les responsabilités, on se référera au chapitre 7 de la norme SIA 162.

Phase	Mesure	Particularités	Responsabilité
Élaboration du projet	Conception	– définir les exigences – év. essais préliminaires (pour des ouvrages importants) – plan de contrôle et plan de surveillance	Auteur du projet Auteur du projet Auteur du projet
Soumission	Mise en soumission	– concept des essais – définition de la recette initiale resp. de la recette prescrite	Auteur du projet Auteur du projet
	Offre	– attestations, rapports d'investigation – objets de références (expériences) – propositions des valeurs de pilotage	Entrepreneur Entrepreneur Entrepreneur
Avant le début des travaux	Essais de convenance	– définition des valeurs visées et des valeurs de pilotage – essais préliminaires réalisés dans des conditions représentatives – échantillons et prélèvement d'éprouvettes	Auteur du projet, Direction des travaux Entrepreneur Entrepreneur
Exécution	Contrôles de qualité	– contrôles internes et / ou externes selon plan de contrôle	Entrepreneur Direction des travaux Maître d'ouvrage
Après l'achèvement des travaux	Contrôles ultérieurs	– suivant le plan de surveillance	Maître d'ouvrage

Tableau 1

- 4 42 Lors de l'établissement du projet, on définira le type et l'importance des contrôles de qualité qui seront consignés dans le plan de contrôle. Les critères de réception pour les différentes phases intermédiaires et l'achèvement de l'exécution doivent être définis.
- 4 43 Dans certains cas, les indications figurant dans le tableau 16 de la norme SIA 162 sont en principe valables.

- 4 44 La valeur de calcul de la résistance effective à la traction par flexion f_{ctf} et la valeur de calcul de l'énergie de rupture G_f sont déterminées selon l'annexe.
- 4 45 La teneur en fibres $C_f = m_f / V_c$ doit être déterminée à partir d'éprouvettes fabriquées séparément ou prélevées dans l'ouvrage. En général, on prélève pour chaque essai cinq éprouvettes ayant chacune une masse d'environ 5 kg. Le volume V_c sera déterminé soit par mesurage soit par pesage de l'éprouvette (en tenant compte de la masse déterminée dans des essais séparés). Les fibres sont prélevées soit par écrasement de l'éprouvette dans un concasseur de laboratoire (pour des échantillons de béton frais après séchage préalable) ou par délavement d'échantillons de béton frais (évent. à l'aide d'un aimant); leur masse m_f est déterminée par pesage avec une tolérance de ± 1 g. En plus de la provenance et de la date de fabrication des éprouvettes, on indiquera dans le protocole le type de fibres et les différents résultats d'essai ainsi que leur valeur moyenne.

5 EXÉCUTION

5 1 Traitement

- 5 11 L'ouvrabilité du béton renforcé de fibres métalliques est influencée d'une manière déterminante par:
- le dosage en fibres et le facteur d'élancement (dans le cas d'un dosage en fibres élevé, l'ouvrabilité diminue si le facteur d'élancement augmente)
 - la composition granulométrique (une part importante de granulats grossiers et/ou concassés diminue l'ouvrabilité)
 - la géométrie et la structure de la surface des fibres (une surface rugueuse peut favoriser la formation de pelotes ou de hérissos).
- 5 12 Une attention particulière sera accordée au compactage du béton renforcé de fibres métalliques et particulièrement lorsque la consistance est ferme. Lors de l'utilisation de vibrateurs à aiguille il faut être prudent car des points faibles peuvent être créés; lors de l'utilisation de vibrateurs de coffrage, ce danger existe moins.
- 5 13 En ce qui concerne le transport du béton, les dispositions indiquées au chiffre 6 07 1 de la norme SIA 162 sont applicables. Si les fibres ne sont ajoutées que sur le chantier, on doit utiliser impérativement des camions malaxeurs.
- 5 14 Pour la mise en œuvre du béton renforcé de fibres métalliques, les dispositions indiquées dans les chiffres 6 07 2 à 6 07 7 de la norme SIA 162 sont applicables. Pour le béton pompé, il est recommandé d'effectuer des essais de pompage en observant spécialement les dispositions des chiffres 5 14 26 et 5 15 de la norme SIA 162. Pour le béton projeté par voie mouillée, l'utilisation d'un superfluidifiant peut être indiquée.
- 5 15 Le procédé de projection du béton renforcé de fibres métalliques ne se différencie pas fondamentalement de celui du béton projeté sans fibres. Le ricochet contient toujours une part élevée de granulats grossiers et de fibres. Par rapport à la gâchée du mélange à la sortie de la bétonnière, la teneur en fibres du béton en place peut diminuer de 20 à 50%; des pertes élevées peuvent se produire en particulier avec le procédé de projection par voie sèche et lorsque l'épaisseur de la couche est faible.
- 5 16 Pour la mise en place de béton renforcé de fibres métalliques, on doit avoir recours au service de guniteurs expérimentés. Le remplissage complet de tous les espaces vides, fissures et fentes doit absolument être garanti par une conduite adéquate de la lance de projection. L'épaisseur minimale à respecter se monte à 50 mm. Le dosage de l'accélérateur de prise doit être contrôlé régulièrement et adapté au rendement effectif de projection.
- 5 17 Par le procédé de projection, les fibres se retrouvent en partie orientées parallèlement à la surface de projection. Ce fait influence les propriétés du béton durci et doit être pris en compte lors de la fabrication et de la préparation des éprouvettes.

5 2 Traitement de cure

- 5 21 Pour le traitement de cure du béton, les dispositions indiquées au chiffre 6 08 de la norme SIA 162 sont applicables.
- 5 22 Pour de faibles épaisseurs de béton projeté renforcé de fibres métalliques, il peut s'avérer nécessaire de prendre des mesures spéciales comme l'humidification ou d'autres dispositions évitant le dessèchement.

6 SÉCURITÉ AU TRAVAIL

- 6 1 Les travaux de béton projeté doivent, en principe, être exécutés avec des robots de projection de telle façon qu'aucune personne ne doit se trouver dans la zone non sécurisée.
- 6 2 La résistance précoce du béton projeté utilisé comme protection de la calotte ou comme mesure de soutènement à l'avancement revêt une importance déterminante pour la sécurité au travail. La résistance précoce du béton obtenue dans l'ouvrage doit donc être contrôlée (par exemple avec des essais de pénétration) ; les données correspondantes sont à définir dans le plan de contrôle.

PARTIE ADMINISTRATIVE

7 PRESTATION ET MÉTRÉ

7 1 Unité de mesure

7 11 L'unité de mesures pour le béton renforcé de fibres métalliques et le béton projeté renforcé de fibres métalliques mis en place par voie mouillée est le m^3 de béton en place dans l'ouvrage.

7 12 L'unité de mesure pour le béton projeté renforcé de fibres métalliques mis en place par voie sèche est le m^3 de mélange à sec constitué des granulats, du ciment, des fibres métalliques et des additifs.

7 2 Mise en soumission et offre

7 21 En général, dans les documents de soumission on définira la résistance effective à la traction par flexion f_{ctf} respectivement la valeur de calcul de l'énergie de rupture G_f représentant les exigences déterminantes de la recette initiale. De plus, les critères particuliers relatifs aux fibres métalliques à utiliser seront définies. Le choix du type de fibre et son dosage sont laissés au choix de l'entrepreneur; les données correspondantes sont à indiquer dans l'offre.

7 22 Exceptionnellement, on peut définir dans les documents de soumission une recette prescrite. L'entrepreneur est responsable du respect de la recette prescrite. Les propriétés du béton en place qui en résultent sont de la responsabilité du maître d'ouvrage.

7 3 Essai de convenance

7 31 Avant l'exécution, l'entrepreneur doit, à l'aide d'essais préliminaires, prouver que les propriétés exigées peuvent être obtenues à l'aide des fibres choisies, du dosage prévu et de la recette de béton proposée.

7 32 Sur la base des essais préliminaires, on définira la grandeur visée de la teneur en fibres (valeur moyenne et valeur minimale), le dosage en fibres ainsi que les différents paramètres du béton utilisés comme grandeurs de pilotage pour l'exécution.

7 4 Contrôle de qualité

7 41 Le contrôle de qualité exige en général la détermination de la teneur en fibres. Le cas échéant, on déterminera aussi la résistance effective à la traction par flexion f_{ctf} ou la valeur de calcul de l'énergie de rupture G_f .

7 42 Pour déterminer la teneur en fibres, on effectuera un essai selon le chiffre 4 45 par $200 m^3$ de béton mis en place dans l'ouvrage. La vérification est effectuée si les valeurs moyenne et minimale définies lors des essais préliminaires sont atteintes.

7 43 Spécialement dans les travaux souterrains, le contrôle de qualité est effectué d'une manière représentative à l'aide des essais de dalle définis dans l'annexe. De plus, la valeur de calcul de l'énergie de rupture G_f déterminée lors des essais préliminaires ou définie préalablement sera contrôlée.

7 5 Décompte

- 7 51 La rémunération des essais de convenance doit être réglée dans le contrat d'entreprise. Si aucune règle est prévue, le maître d'ouvrage supporte les frais des essais répondant aux exigences du contrat.
- 7 52 Les contrôles de qualité qui répondent aux exigences du contrat sont à la charge du maître d'ouvrage.
- 7 53 Le béton renforcé de fibres métalliques est par principe rémunéré sur la base de la teneur en fibres prescrite. Si le principe d'une recette prescrite est appliqué, ce cas doit être convenu d'une manière particulière dans le contrat.
- 7 54 Pour béton projeté renforcé de fibres métalliques, les fibres métalliques sont par principe rémunérées sur la base de la recette initiale; une plus-value globale par m³ de béton projeté sera rémunérée. Si une recette est exceptionnellement prescrite, le dosage en fibres correspondant à la recette prescrite sera rémunéré.

ANNEXE : ESSAIS SOUS L'ACTION D'UNE CHARGE

A1 Généralités

- A1 1 Les essais de résistance à la traction par flexion, de poinçonnement / flexion sur dalles carrée ou circulaire permettent de déterminer la résistance effective à la traction par flexion f_{ctf} . Avec les essais de poinçonnement / flexion sur dalles carrée ou circulaire, on peut déterminer en outre la valeur de calcul de l'énergie de rupture G_r .
- A1 2 Comme base de référence unitaire, on utilisera les valeurs de résistance d'un béton âgé de 28 jours. Dans le cas où le contrôle intervient à un autre moment, on tiendra compte de la loi d'évolution de la résistance dans l'interprétation des résultats.
- A1 3 Les indications suivantes se basent sur des considérations théoriques et des essais effectués avec $h_o = 100$ mm, $l_f = 30$ mm et $d_f = 0.5$ mm. Dans le cas de variations importantes par rapport à ces proportions, des considérations complémentaires doivent être effectuées en se référant à la théorie de base¹.

1 Marti, P., Pfyl, Th., Sigrist, V. and Ulaga, T., "Harmonized Test Procedures for Steel Fiber Reinforced Concrete", paper submitted for consideration for publication in the ACI Materials Journal, September 1998, 20 pp.

A2 Éprouvettes

- A2 1 Les dimensions des éprouvettes sont indiquées dans le tableau 2. En général, h_o doit mesurer environ $3l_f$ ($h_o = 100$ mm pour 20 mm $\leq l_f \leq 45$ mm); si on divergeait d'une manière importante de cette règle, il conviendrait d'en tenir compte dans l'interprétation des résultats d'essais et dans l'appréciation de la capacité de déformation.
- A2 2 La fabrication et le stockage des éprouvettes sont effectués en général d'une manière analogue à celle fixée au chiffre 2 3 de la norme SIA 162/1.
- A2 3 Les éprouvettes de béton projeté renforcé de fibres métalliques doivent être fabriquées dans des coffrages debout. Le surplus de béton situé au centre de l'éprouvette doit être enlevé par meulage ou par sciage. Les éprouvettes pour les essais de traction par flexion doivent être préparées par sciage d'une dalle carrée.
- A2 4 Avant l'essai, la masse volumique doit être déterminée par pesage et mesurage des éprouvettes.

A3 Exécution de l'essai

- A3 1 Le concept de chargement et d'appui sont indiqués dans le tableau 2. Il faut rechercher un système d'appui et d'introduction de charge libre de contraintes imposées.
- A3 2 Les éprouvettes doivent s'appuyer sur leur côté lisse (côté coffré).
- A3 3 L'essai doit être piloté par le déplacement dans une machine ou une installation d'essai rigide. Le déplacement du vérin doit augmenter d'une manière uniforme de telle façon que les flèches w_1 et w_2 selon le tableau 2 puissent être atteintes après environ 250 respectivement 1000 secondes après le début de l'essai.
- A3 4 Les diagrammes charge / flèche comme indiqués dans la figure 2 doivent être enregistrés graphiquement jusqu'à la flèche w_1 respectivement w_2 . Dans l'essai de traction par flexion, il faut mesurer en outre la distance y entre la fissure de rupture et l'appui le plus proche. Pour les essais de dalle carrée ou circulaire, il faut compter le nombre n des fissures de rupture similaires à celles indiquées dans la figure 3.
- A3 5 La charge sera mesurée avec une tolérance de $\pm 2\%$ de la charge maximale appliquée. Les flèches seront mesurées avec une tolérance de $\pm h_o/2000$.

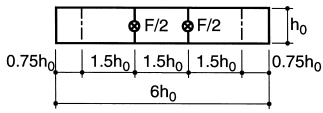
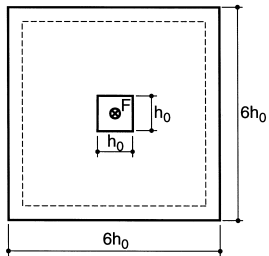
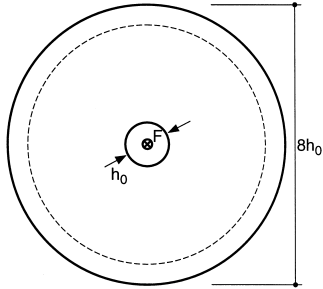
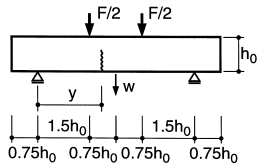
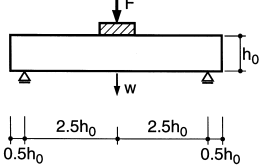
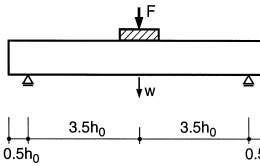
Essai	Essai de traction par flexion	Essai sur dalle carrée	Essai sur dalle circulaire
Situation			
Élévation			
w_1	$\frac{l_f y}{16 h_0}$	$(0.03n + 0.06) l_f$	$(0.07n - 0.10) l_f$
W_1	$\frac{3 h_0}{2 y} \int_0^{w_1} F dw$	$\int_0^{w_1} F dw$	$\int_0^{w_1} F dw$
f_{ctf}	$\frac{12 W_1}{h_0^2 l_f}$	$(0.95 - 0.06 n) \frac{W_1}{h_0^2 l_f}$	$\frac{3 W_1}{n h_0^2 l_f}$
w_2	—	$4 w_1$	$4 w_1$
W_2	—	$\int_0^{w_2} F dw$	$\int_0^{w_2} F dw$
G_f	—	$(0.107 - 0.007 n) \frac{W_2}{h_0^2}$	$\frac{W_2}{3 n h_0^2}$

Tableau 2

A4 Évaluation des résultats

- A4 1 La détermination des valeurs de f_{ctf} et G_f à partir des valeurs nominales W_1 et W_2 est effectuée selon le tableau 2.
- A4 2 Les valeurs de calcul déterminantes sont les valeurs moyennes de f_{ctf} et G_f . Celles-ci sont en général déterminées sur la base de 15 essais de résistance à la traction par flexion respectivement à partir d'au moins trois essais sur une dalle carrée ou circulaire.
- A4 3 Pour tenir compte de la dispersion des résultats, les formules indiquées dans le tableau 2 pour f_{ctf} contiennent un facteur de réduction de 3/4.

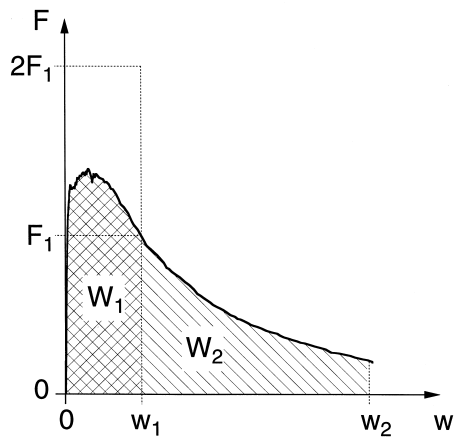
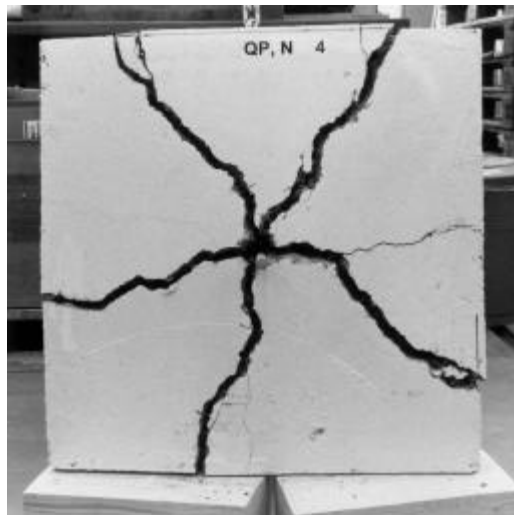
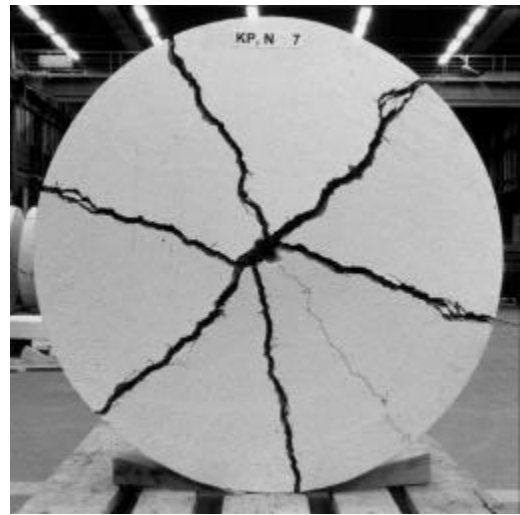


Figure 2



$n = 5$



$n = 6$

Figure 3

Sigles désignant les organisations représentées dans le groupe de travail SIA «Béton renforcé de fibres métalliques»

CNA Caisse nationale suisse d'assurance en cas d'accidents
ETHZ Eidgenössische Technische Hochschule Zürich

Membres du groupe de travail SIA «Béton renforcé de fibres métalliques»

Président:	Dr. Jean Pralong, Ing. SIA, Sion	Projet
Membres:	Rolf Egli, Ing. SIA, Zurich	Entreprise
	Luzi R. Gruber, Ing. SIA, Zurich	Entreprise
	Dr. Paul Lüchinger, Ing. SIA, Zurich	Projet
	Herbert Moser, Ing., Lucerne	CNA
	Alex Sala, Ing., Regensdorf	Projet
	Prof. Willy Wilk, Ing. SIA, Untererlinsbach	Conseil
Collaborateurs:	Thomas Pfyl, Ing. SIA, Zurich	ETHZ
	Dr. Viktor Sigrist, Ing. SIA, Lucerne	Projet
Professionnels spécialisés:	Dr. Gustav Bracher, Chem. SIA, Zurich	Entreprise
	Kurt Herzig, Ing., Bâle	Projet
	Prof. Dr. Peter Marti, Ing. SIA, Zurich	ETHZ
	Dirk Nemegeer, Ing., Belgique	Entreprise

Adoption et entrée en vigueur

La présente recommandation SIA 162/6 a été adoptée par le Comité central de la SIA en janvier 1999.

Elle entre en vigueur le 1^{er} février 1999.

Le président: K. Aellen
Le secrétaire général: E. Mosimann

Copyright © 1999 by SIA Zurich

Tous droits réservés, qu'il s'agisse de réimpression même partielle, de reproduction partielle ou complète (photocopie, microcopie), d'enregistrement dans des banques de données, et de traduction.