

NRC Publications Archive Archives des publications du CNRC

Béton renforcé de fibres
Beaudoin, J. J.

For the publisher's version, please access the DOI link below./ Pour consulter la version de l'éditeur, utilisez le lien DOI ci-dessous.

Publisher's version / Version de l'éditeur:

<https://doi.org/10.4224/40000940>

Digeste de la construction au Canada, 1982-07-01

NRC Publications Archive Record / Notice des Archives des publications du CNRC :

<https://nrc-publications.canada.ca/eng/view/object/?id=7727d1e6-ab29-4385-95a7-9055c7aa2df5>

<https://publications-cnrc.canada.ca/fra/voir/objet/?id=7727d1e6-ab29-4385-95a7-9055c7aa2df5>

Access and use of this website and the material on it are subject to the Terms and Conditions set forth at

<https://nrc-publications.canada.ca/eng/copyright>

READ THESE TERMS AND CONDITIONS CAREFULLY BEFORE USING THIS WEBSITE.

L'accès à ce site Web et l'utilisation de son contenu sont assujettis aux conditions présentées dans le site

<https://publications-cnrc.canada.ca/fra/droits>

LISEZ CES CONDITIONS ATTENTIVEMENT AVANT D'UTILISER CE SITE WEB.

Questions? Contact the NRC Publications Archive team at

PublicationsArchive-ArchivesPublications@nrc-cnrc.gc.ca. If you wish to email the authors directly, please see the first page of the publication for their contact information.

Vous avez des questions? Nous pouvons vous aider. Pour communiquer directement avec un auteur, consultez la première page de la revue dans laquelle son article a été publié afin de trouver ses coordonnées. Si vous n'arrivez pas à les repérer, communiquez avec nous à PublicationsArchive-ArchivesPublications@nrc-cnrc.gc.ca.

Digeste de la Construction au Canada

Division des recherches en construction. Conseil national de recherches Canada

CBD-223-F

Béton renforcé de fibres

Veillez noter

Cette publication fait partie d'une série qui a cessé de paraître et qui est archivée en tant que référence historique. Pour savoir si l'information contenue est toujours applicable aux pratiques de construction actuelles, les lecteurs doivent prendre conseil auprès d'experts techniques et juridiques.

Publié à l'origine en juillet 1982.

J.J. Beaudoin

Par ses nombreuses qualités, le béton se prête à de multiples conceptions nouvelles. Non seulement il peut être moulé dans les formes les plus diverses, mais il a une excellente résistance à la compression, une grande rigidité, une faible conductivité thermique et électrique, il est peu combustible et peu toxique.

Deux caractéristiques ont néanmoins limité son utilisation : il est fragile et résiste mal à la traction. Cependant, la récente mise au point de produits composites renforcés de fibres dans les secteurs de l'aérospatiale et des plastiques a offert la possibilité de pallier ces lacunes.

Ce Digeste décrit les propriétés générales et l'utilisation en construction du béton renforcé de fibres. La promesse d'éléments plus minces, plus résistants, plus légers et moins sujets à la fissuration par la simple addition d'une petite quantité de fibres rend cette innovation très intéressante.

Rôle des fibres

Lorsque les charges appliquées au béton s'approchent de la charge de rupture, les fissures se propagent, parfois rapidement. Les fibres noyées dans le béton permettent d'arrêter le développement de la fissuration. Les barres d'armature en acier jouent un rôle analogue, car elles agissent comme des fibres de grande longueur. Les fibres courtes et discontinues ont cependant l'avantage de se mélanger et de se disperser dans le béton de façon uniforme. Les fibres sont ajoutées à la gâchée de béton, qui contient habituellement du ciment, de l'eau et des granulats fins et grossiers. Parmi les fibres les plus utilisées, citons les fibres d'acier, de verre, d'amiante et de polypropylène (tableau 1).

Tableau 1. Propriétés physiques et mécaniques de certaines fibres

Fibre	Diamètre en μm	Densité	Allongement de rupture en %	Module d'élasticité, en GPa	Résistance en traction, en GPa
Acier	5-500	7,8	3-4	200	1-3
Verre	9-15	2,6	2-3,5	80	2-3
Polypropylène	7,5	0,9	20,0	5	0,5
Particules de	0,01-200	2,9	-	170	0,25

mica					
Amiante	0,02-20	2,5-3,4	2,3	200	3
Carbone	7,5	1,7-2,0	0,5-1,0	300-400	2-3

Si le module d'élasticité de la fibre est élevé par rapport au module d'élasticité du béton ou du mortier, les fibres reprennent une part des charges, augmentant ainsi la résistance à la traction du matériau. L'augmentation du rapport longueur/diamètre des fibres accroît habituellement la résistance à la flexion et la ténacité du béton. Les valeurs de ce rapport sont généralement comprises entre 100 et 200, car des fibres de trop grande longueur ont tendance à former des boules dans le mélange, créant ainsi des problèmes d'ouvrabilité.

En règle générale, les fibres sont éparpillées au hasard dans le béton ; toutefois, si on traite le béton pour que les fibres soient alignées dans la direction des contraintes en service, on obtient de meilleures résistances en traction et en flexion.

Fabrication

Avant de mélanger le béton, la longueur des fibres, leur quantité et la composition du mélange sont choisies pour éviter la formation de boules de fibres. Dans les mélanges renforcés, le mortier occupe d'habitude environ 70 p. 100 du volume, contre 50 p. 100 pour les mélanges de béton courants, non renforcés de fibres.

Les panneaux en ciment renforcé de fibres ne contiennent pas de granulats grossiers. Ces produits sont généralement réalisés en projetant simultanément le mortier et les fibres hachées. Un mortier ayant un rapport eau/ciment élevé facilite la projection. Il existe d'autres méthodes de fabrication, dont le coulage, moins universel que la projection, et le moulage sous pression, où le rapport eau/ciment moins élevé permet d'obtenir un produit plus résistant.

Des adjuvants chimiques sont ajoutés au mélange de béton renforcé de fibres, notamment pour augmenter son ouvrabilité. En Amérique du Nord, les entraîneurs d'air et les réducteurs d'eau sont ordinairement additionnés aux mélanges qui contiennent une proportion de 50 p. 100 ou plus de granulats très fins.

Les superplastifiants¹ incorporés à des bétons renforcés de fibres peuvent abaisser le rapport eau/ciment et améliorer la résistance, la stabilité volumétrique et l'ouvrabilité des mélanges frais.

Diverses applications

Les nombreuses innovations de la technologie des bétons renforcés de fibres ont permis d'étendre considérablement la gamme des applications (tableau 2).

Tableau 2. Application de divers renforcements de fibres dans les produits à base de ciment*

Type de fibre	Application
Verre	Panneaux préfabriqués, murs, rideaux, tuyaux d'égout, toiture en voile mince de béton, enduit pour blocs de béton.
Acier	Éléments de toiture en béton cellulaire, revêtements de chaussée, tabliers de pont, produits réfractaires, tuyaux en béton, pistes d'atterrissage, réservoirs sous pression, structures résistantes aux explosions, revêtements de tunnel, coques de bateaux.
Polypropylène, nylon	Pieux de fondation, pieux précontraints, panneaux de revêtement, éléments flottants de débarcadères et amarres pour les marinas, matériaux de réparation des routes, couches de lest pour les tuyaux sous-marins.
Amiante	Voiles, tuyaux, panneaux, matériaux d'isolation thermique et de protection

contre le feu, tuyaux d'égout, plaques de toiture plates et ondulées, revêtements de mur.

Carbone Éléments ondulés pour la construction des planchers, structures de membrane simple ou double courbure, coques de bateaux, planches d'échafaudage.

Particules de mica Remplacent partiellement l'amiante dans les panneaux à base de ciment, les tuyaux en béton ; matériaux de réparation.

*La combinaison de plusieurs types de fibres peut être utilisée pour des besoins particuliers.

Propriétés du matériau composite

Les fibres peuvent améliorer la ténacité, la résistance en flexion ou les deux, et sont choisies en fonction de leur disponibilité, de leur coût et de leurs propriétés. Par exemple, les fibres de polypropylène augmentent nettement la ténacité du béton mais ont peu d'effet sur sa résistance en traction. Par contre, les mélanges de fibres de polypropylène et de verre donnent un béton de grande résistance en flexion et très tenace (voir les tableaux 3 et 4).

Tableau 3. Ténacité des matériaux à base de ciment renforcés de fibres par rapport à des matériaux non renforcés.

Matériau composite	Volume de fibres en pourcentage (%)	Ténacité p/r aux produits non renforcés*
BÉTON		
acier	0,5	2,5-4,0
acier	1,0	4,0-5,5
acier	1,5	10-25
verre	1,0	1,7-2,0
polypropylène	0,5	1,5-2,0
polypropylène	1,0	2,0-3,5
polypropylène	1,5	3,5-15,0
nylon	1,0	1,5-1,7
MORTIER		
acier	1,3	15,0
amiante	3-10	1,0-1,5
PÂTE DE CIMENT		
verre	4,5	2,0-3,0
particules de mica	2,0-3,0	3,0-3,5

* Ces valeurs sont des valeurs types seulement et peuvent varier selon la méthode d'essai, le procédé ou le mélange.

Tableau 4. Résistance en flexion de matériaux à base de ciment renforcés de fibres par rapport à des matériaux non renforcés.

Matériau composite	Volume de fibres (en %)	Résistance en flexion p/r aux produits non renforcés*
BÉTON		
acier	1-2	2,0
verre	1-2	2,5-3,5

MORTIER

acier	1,3	1,5-1,7
verre	2	1,4-2,3
amiante	3-10	2,0-4,0

PÂTE DE CIMENT

verre	4,5	1,7-2,0
particules de mica	2-4	2-2,5
polypropylène	1-2	1,0

*Ces valeurs sont des valeurs types seulement et peuvent varier selon la méthode d'essai, le procédé et le mélange.

En général, les fibres réduisent le fluage, c'est-à-dire la déformation du béton avec le temps sous une contrainte constante. Par exemple, le fluage en traction d'un béton renforcé de fibres d'acier peut représenter seulement 50 à 60 p. 100 de celui d'un béton ordinaire et le fluage en compression, 10 à 20 p. 100.

Le retrait du béton, qui est provoqué par la perte de l'eau pendant le séchage, est en partie empêché par les fibres. Le retrait du béton peut être diminué de 35 p. 100 ou moins si l'on ajoute 1,5 p. 100 de fibres par volume.

D'autres propriétés du béton comme la résistance en compression et le module d'élasticité ne figurent pas dans les tableaux car elles sont nettement moins touchées par la présence des fibres.

Performances à long terme d'un ciment renforcé de fibres de verre résistantes aux alcalis

Depuis la fin des années 1960, l'utilisation des fibres de verre résistantes aux alcalis pour le renforcement du ciment a éveillé passablement d'intérêt en raison des excellentes qualités mécaniques de celles-ci.² On s'est cependant préoccupé des réactions possibles avec la matrice.³⁻⁴ Les valeurs de ténacité et de résistance à la flexion données aux tableaux 3 et 4 pour les composites contenant des fibres de verre ont été obtenues à partir d'échantillons dans lesquels les fibres n'ont pas subi de corrosion.

La résistance en traction et la résistance au choc des produits en ciment renforcé de fibres de verre diminuent avec l'âge si ceux-ci sont exposés à l'extérieur.⁵ Cette diminution de la résistance en traction avec le temps, qui a été notée pour les produits renforcés de fibres de verre résistantes aux alcalis, a aussi été observée dans les ciments sursulfatés et à forte teneur en alumine qui ne contiennent que de petites quantités d'alcalis. Les produits à base de ciment renforcé de fibres de verre dont la résistance à la traction et au choc diminue avec l'âge ne devraient pas être utilisés dans la fabrication des éléments structuraux principaux. Les fibres de verre ont été utilisées avec succès dans la fabrication de voiles minces pour éviter des problèmes de fissuration dus aux contraintes de retrait.

La plupart des autres fibres utilisées sont relativement stables lorsqu'elles sont dans la masse du ciment. Des baisses de résistance n'ont pas été observées dans les échantillons contenant des fibres de carbone et des fibres de Kevlar. La combinaison de différents types de fibres dans des produits à base de ciment constitue une nouvelle façon d'améliorer les performances à long terme de ces produits. Les mélanges de fibres de polypropylène et de verre, ou de particules de mica utilisées comme des fibres, peuvent aider à prévenir l'affaiblissement à long terme de la résistance à la traction et au choc.

Agents extérieurs

La résistance du béton renforcé de fibres aux attaques du milieu ambiant, par exemple à l'action du gel, dépend de la qualité de la matrice et ne devrait pas être très différente de celle d'un béton ordinaire. Les fibres peuvent cependant réduire les dommages dus au gel car elles empêchent la fissuration. Pour obtenir une bonne résistance au gel et à la corrosion par le sel, il faut aussi s'assurer qu'il y a suffisamment d'air entraîné dans le mélange.

Les attaques par les acides et les sulfates et les réactions granulats-alcalis ne sont généralement pas aggravées par la présence de fibres, à moins qu'il y ait une réaction chimique entre les fibres et le béton.

Conclusion

Les innovations constructives, qui font souvent appel à de nouveaux matériaux, ont rendu les ciments renforcés de fibres très populaires. La possibilité d'améliorer la résistance à la traction et au choc permet d'envisager une réduction du poids et de l'épaisseur des éléments, et devrait aussi réduire les dommages attribuables au transport et à la manutention.

La norme ASTM C440-74a décrit l'utilisation de l'amiante-ciment et des produits connexes, mais il n'y a, à l'heure actuelle, aucune norme ASTM générale sur les ciments, les mortiers ou les bétons renforcés de fibres. Jusqu'à ce que de telles normes soient publiées, il faudra s'en remettre à l'expérience et au jugement des fabricants de fibres et des concepteurs. Il incombe donc aux concepteurs de connaître les limites que présentent certains produits composites, particulièrement en ce qui concerne la durabilité des produits renforcés de fibres de verre.

Références

1. Ramachandran, V. S. Superplastifiants et béton, Conseil national de recherches du Canada, Division des recherches en bâtiment, **Digest de la construction au Canada n° 203F**, mai 1979.
2. Majumdar, A.J. and J.F. Ryder. Glass Fibre Reinforcement of Cement Products, Glass Technology, Vol. 9(3), p. 78-84, 1968.
3. Majumdar, A.J. and R.W. Nurse. Glass Fibre Reinforced Cement, Materials Science and Engineering, Vol. 15, p. 107-127, 1974.
4. Cheetham, C.J. and P. Maguire. Coating of Glass Fibres, U. S. Patent 4,173,486, 1979.
5. Building Research Station. A Study of the Properties of Cem-Fil/ OPC Composites, Building Research Establishment Current Paper, CP 38/76, Garston, England, 1976.