

Le béton de fibres synthétiques

Autor(en): **Hermann, Kurt**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Bulletin du ciment**

Band (Jahr): **60-61 (1992-1993)**

Heft 8

PDF erstellt am: **11.09.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-146303>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Le béton de fibres synthétiques

Procédés de fabrication, propriétés et applications du béton renforcé de fibres synthétiques.

Après avoir déjà traité dans le «Bulletin du ciment» du renforcement du béton par des fibres en général [1], et par des fibres d'acier en particulier [2], nous allons parler maintenant du béton de fibres synthétiques. Un coup d'œil sur les différences physiques entre les fibres d'acier et les fibres synthétiques (*tableau 1*) laisse supposer que ces fibres diffèrent aussi considérablement par leurs applications, ce qui est absolument exact.

Le béton de fibres synthétiques s'utilise surtout lorsqu'il faut empêcher dans toute la mesure du possible la formation de fissures de retrait, et que l'on exige une meilleure résistance initiale et une résistance au choc plus élevée que celles du béton non armé.

Propriétés des fibres synthétiques

Pour qu'elles puissent être utilisées comme armature des bétons ou mortiers, les fibres synthétiques doivent avant tout résister aux alcalis. L'utilisation des fibres de polyester et de polyarylamide, qui ne remplissent qu'imparfaitement cette condition, est donc de prime abord limitée, et nous n'en parlerons pas.

Parmi les fibres synthétiques utilisées pour renforcer les bétons et mortiers, les *fibres de polypropylène* occupent une position dominante. Certainement en raison du fait que, en dehors de leur bonne résistance aux alcalis, elles sont bon marché. Elles sont utilisées principalement sous forme de micro-faisceaux qui, soumis à un effort mécanique, se dissocient en dispersant les fibres. L'adhérence de ces fibres à la matrice du béton est meilleure que celle des fibres extrudées lisses (filaments) [3, 4].



Fibres de polypropylène fibrillées telles qu'elles sont livrées (en bas à gauche), ainsi qu'à deux stades de la dispersion. (photos: T. Steiner)

Les *fibres de polyacrylonitrile*, à section réniforme et surface finement structurée, ont été mises au point au début des années 80, initialement pour remplacer l'amiante dans le fibrociment. Un peu plus tard, on a produit de nouveaux types de ces fibres, avec des diamètres entre 13 et 104 μm (0,013 à 0,104 mm) et des longueurs entre 20 et 60 mm. Pour l'armature des bétons et mortiers, ce sont les fibres de diamètre à partir de 50 μm et longueur de 6 à 24 mm qui semblent avoir donné les meilleurs résultats. Leur module d'élasticité de 16 à 19 kN/mm^2 représente environ la moitié de celui des mortiers et bétons, alors que leur allongement à la rupture (10 %) est beaucoup plus grand que celui des fibres d'acier (3–4 %) [3, 5].

Grâce à un procédé de fabrication spécial, les *fibres de polyalcool de vinyle* témoignent de bonnes propriétés en matière de déformation et de résistance mécanique, ainsi que d'une forte liaison dans le béton. Comme les fibres de polyacrylonitrile, elles sont utilisées dans l'industrie, avec d'autres fibres, pour la fabrication de produits remplaçant l'amiante [3, 6].

Propriétés du béton de fibres synthétiques

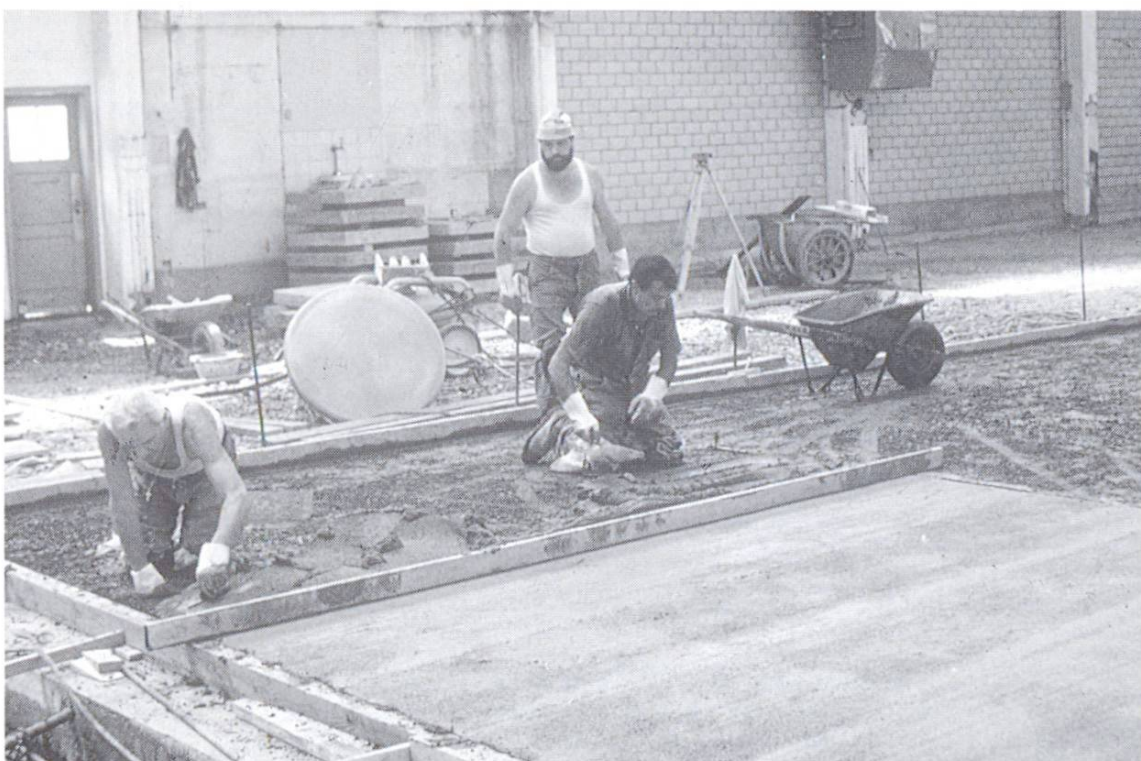
Une propriété importante des fibres synthétiques – comme d'ailleurs des fibres d'acier – est leur faculté d'empêcher que les fissures soumises à un effort de traction s'ouvrent, ou, en cas de fortes dilatations, de permettre la formation de nombreuses petites fissures n'entraînant pas la rupture. Par exemple, 0,1 pour cent en volume ($1 \text{ kg}/\text{m}^3$) de fibres de polypropylène réparties de façon homogène suffit déjà pour empêcher, dans certaines limites, la formation de fissures de retrait. Ces fibres peuvent remplacer les fers d'armature qui sont utilisés uniquement pour empêcher les fissures de retrait, et qui souvent représentent un risque de corrosion. Les résistances à la compression, à la traction et à la traction en flexion ne s'en trouvent toutefois augmentées que dans une mesure limitée. C'est pourquoi,

3 même dans le béton armé de fibres synthétiques, les efforts de traction déterminés par voie statique doivent être repris par des fers d'armature [7].

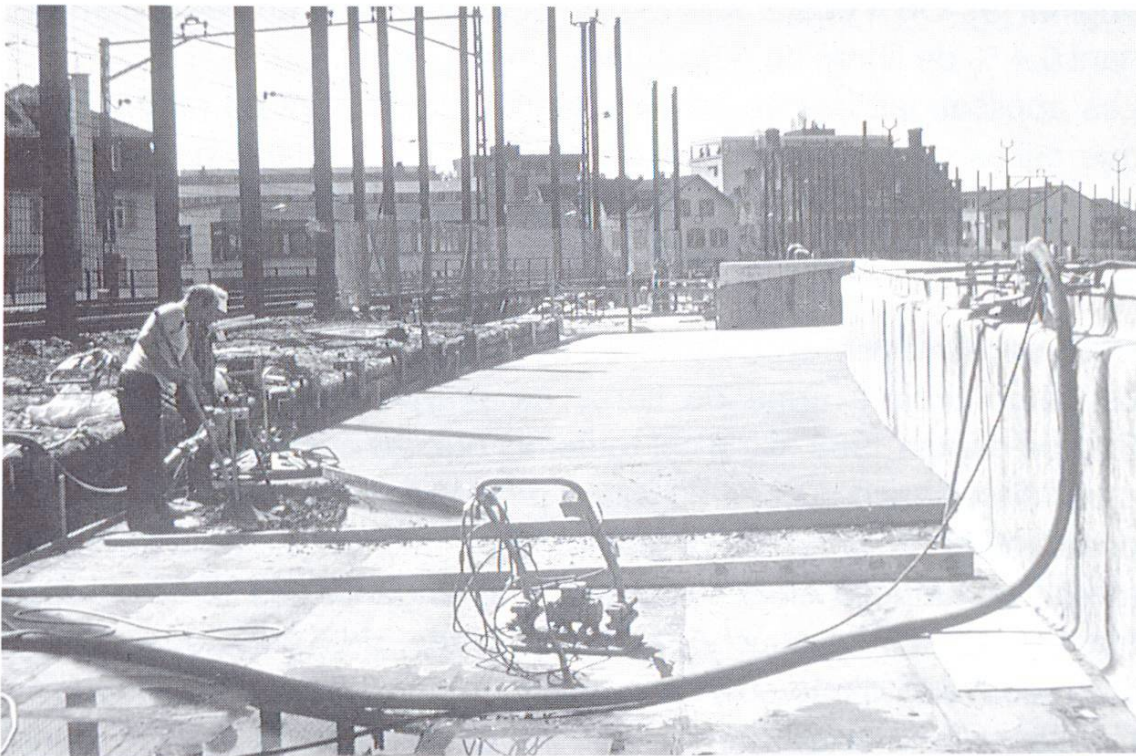
Les fibres de polypropylène fibrillées, en quantité de 1 kg/m^3 (0,1 pour cent en volume), font fonction d'armature tridimensionnelle, qui peut reprendre les contraintes de liaison dans le béton jeune [7, 8, 9]. Ces contraintes de liaison ont plusieurs causes. Le béton jeune en train de durcir par exemple cède de l'eau au coffrage, et en perd également par évaporation. Il en résulte des retraits variant en fonction de la section, qui provoquent des contraintes internes dans la matrice. La libre diminution du retrait est en outre empêchée par le coffrage, ainsi que par une éventuelle armature. Le champ de température non homogène pendant la prise provoque également des contraintes.

Lorsque pendant la période critique (les premières 10 heures), ces contraintes internes sont supérieures à la résistance à la traction encore faible du béton, des fissures de retrait précoces se forment aux points faibles. Durant cette phase, les fibres de polypropylène (ainsi que les autres fibres synthétiques) sont encore plus rigides que la matrice du béton. Elles servent d'armature, et comme elles empêchent dans une large mesure l'extension des fissures, la résistance à la traction de la matrice n'est pas compromise.

Parce qu'elles sont noyées dans la matrice, les fibres qui ne se trouvent pas tout près de la surface sont bien protégées contre les



Les sols industriels faiblement sollicités sont un important domaine d'application du béton renforcé de fibres synthétiques.



Le béton renforcé de fibres synthétiques peut servir à recouvrir des feuilles d'étanchéité pour les protéger de l'endommagement.

nuisances de l'environnement, par exemple agents oxydants ou rayons U.V. Des études très étendues sur le comportement à la corrosion des fibres d'acier, de verre et synthétiques ont démontré que c'étaient les fibres de polypropylène qui témoignaient de la meilleure résistance à la corrosion [10].

Le fait que les fibres de polypropylène se dégradent lors de hautes températures peut même être un avantage: le fin réseau de vides qui se forme lors de températures supérieures à 600 °C permet à l'humidité de se dégager du béton réfractaire, sans engendrer une pression qui conduirait à des éclatements [8].

Fabrication du béton de fibres synthétiques

Pour qu'un béton de fibres synthétiques témoigne des performances requises, sa composition, sa mise en œuvre et sa cure doivent être les meilleures possibles. Certaines fibres synthétiques peuvent être ajoutées directement dans le malaxeur, alors que d'autres doivent d'abord être dispersées. Il est préférable de prémélanger les fibres avec les granulats, et de n'ajouter qu'ensuite le ciment et l'eau [11].

Comme on pouvait s'y attendre, un facteur e/c faible (0,40 à 0,50) a des conséquences positives. L'utilisation de fluidifiants est vivement conseillée, mais il ne faut les ajouter qu'à la fin du malaxage. Ils améliorent l'ouvrabilité du béton, et cette amélioration ne doit en aucun cas s'obtenir par l'adjonction d'eau.

Pour le béton renforcé de fibres de polyacrylonitrile, les fabricants de fibres [12] conseillent les quantités suivantes:

Matériau	Densité g/cm^3	Diamètre typique μm	Résistance à la traction kN/mm^2	Module d'élasticité kN/mm^2	Allongement à la rupture %	Adhérence dans la pâte de ciment durcie	Résistance dans la pâte de ciment durcie
Matière synthétique							
polypropylène filamenteux fibrillé	0,9	> 4	0,4-0,7	1-8	20	mauvaise	bonne
polyalcool de vinyle	0,9	> 4	0,5-0,75	5-18	5-15	bonne	bonne
polyacrylonitrile	1,31	≥ 12	1,6	30	6	bonne	bonne
Polyarylamides	1,17	13-104	0,85-0,95	16,5-90	10	bonne	bonne
	1,45	10	2,8-3,6	65-130	2-4	mauvaise	conditionnelle
Fibres d'acier	7,85	150-1000	0,3-2,5	200-210	3-4	moyenne	stable
Fibres de verre							
verre non alcalin	2,6	8-15	2-3,5	175	2-3,5	bonne	mauvaise
verre AR	2,7	10-15	1,8-3,0	75	2-3	bonne	dans une ample mesure
Amiante	2,6	0,02-20	1-4,5	160	2-3	très bonne	très bonne
Matrice							
pâte du ciment durcie	2,0		$\leq 0,008^1$)	7-28	0,03-0,06		
mortier	2,3		$\leq 0,006^1$)	20-45	0,015		
béton	2,6		$\leq 0,004^1$)	20-45	0,01		

¹⁾ valeurs indicatives approximatives

Tableau 1: Propriétés de fibres sélectionnées (selon [3]).



Sculpture en grès artificiel au Schauspielhaus de Zurich (béton fin renforcé de fibres synthétiques).

- 2–5 kg/m³ pour empêcher les fissures de retrait précoces,
- 5–10 kg/m³ pour empêcher les fissures de retrait,
- 10–25 kg/m³ pour améliorer la résistance au choc.

Applications du béton de fibres synthétiques

De 1974 à 1990, les fibres de polypropylène (0,1 à 0,3 pour cent du volume) ont connu de nombreuses applications [7, 8]. Elles ont été utilisées par exemple pour des dalles de plancher et de fondation, des revêtements de routes et de pistes de course, des chapes, des murs de soutènement, des constructions marines et portuaires, des piscines, ainsi que pour du béton en milieux agressifs. Remplacer l'armature de retrait par des fibres est spécialement indiqué pour les éléments préfabriqués minces (éléments de façades [13], puits, bacs à fleurs, bassins de fontaine, etc.). Et enfin, grâce à la résistance initiale comparativement élevée des mortiers renforcés de fibres synthétiques, on peut souvent renoncer aux treillis métalliques de soutènement pour les surfaces inclinées. Avec des machines à projeter ordinaires, on peut appliquer sur des isolations (carton bitumé), en une opération, des couches isolantes d'une épaisseur allant jusqu'à 4 cm.

Les parties en grès défectueuses d'un ouvrage peuvent être remplacées par des éléments en grès artificiel, coulés avec 1 kg/m³ de fibres de polypropylène. Après durcissement, on sable la surface de la couche de ciment. Ce produit, qui ne se fissure pas, a le même aspect que le grès, et est beaucoup moins cher que le grès taillé

7 original [9]. On a également réalisé des sculptures en béton comprenant 0,4 % de fibres de polypropylène [14].

Les applications des fibres de polyacrylonitrile sont du même ordre que celles des fibres de polypropylène. On les utilise par exemple pour des encorbellements de ponts, des éléments de façades sandwich et des dalles de plancher.

Béton projeté renforcé de fibres synthétiques

Le béton projeté armé de fibres de polypropylène est connu en Europe depuis 1968. Ce n'est toutefois que 20 ans plus tard que l'on a pu utiliser avec succès du béton projeté par voie humide avec un pourcentage de fibres élevé (environ 6 kg/m^3), et cela pour le revêtement d'un tunnel à Alberta (Canada). La longueur des fibres utilisées était de 38 mm. La couche armée de fibres, de 5 cm d'épaisseur, a été recouverte d'une couche non armée, de 2,5 cm d'épaisseur. La résistance à la traction en flexion devait être de $2,64 \text{ N/mm}^2$ après sept jours, une exigence à laquelle on a pu répondre.

Le béton projeté armé avec 0,1 pour cent en volume de fibres de polypropylène témoigne de valeurs de rebondissement jusqu'à 25 % inférieures à celles du béton projeté non armé. La résistance initiale élevée permet en outre de renoncer aux accélérateurs de prise, complètement ou partiellement [8].

Une application intéressante du béton projeté par voie humide, à forte teneur en cendres volantes et renforcé de fibres synthétiques, a été décrite récemment [16]: pour empêcher que des substances acides ou autrement agressives, ainsi que des métaux lourds et d'autres substances polluantes soient dégravoyées des terrils, ces derniers devaient être recouverts d'une couche de béton projeté. Les études ont été concentrées sur un béton projeté ductile, peu sujet à la fissuration. Les résultats essentiels sont les suivants:

- La mise en œuvre du béton projeté par voie humide (gravier de rivière d'un diamètre maximum de 10 mm ainsi que beaucoup de sable naturel, superfluidifiant) est facilement possible avec les équipements usuels si la teneur en eau est de 150 kg/m^3 au moins.
- Les valeurs maximales pour la traction en flexion ont été obtenues avec une teneur nominale en liant de 420 kg/m^3 (60 ou 75 % de cendres volantes, ciment Portland pour le reste) et 6 kg/m^3 de fibres de polypropylène fibrillées.
- Le problème posé par l'apparition de quelques fissures après sept mois d'exposition n'est pas encore résolu.

Les auteurs pensent que malgré les insuffisances mentionnées au dernier point, le procédé décrit fera ses preuves à l'avenir.

Kurt Hermann

8 Bibliographie

- [1] Meyer, B., «Les bétons de fibres», Bulletin du ciment **59** [22] (1991).
- [2] Hermann, K., «Le béton de fibres d'acier», Bulletin du ciment **60** [7] (1992).
- [3] Weigler, H. et Sieghart, K., «Beton: Arten – Herstellung – Eigenschaften», Verlag Ernst & Sohn, Berlin (1989), pages 483–506.
- [4] Knoblauch, H. (éditeur), «Baustoffkenntnis», Werner-Verlag, Düsseldorf, 11e édition, p. 328/29 (1987).
- [5] Hähne, H., König, G. et Wörner, J.-D., «Verhalten, Bemessung und Anwendung von Polyacrylnitril-Faserbeton», exposé présenté à la FRC Conference, à la University of Wales, Cardiff, le 18 septembre 1989.
- [6] Bentur, A. et Mindness, S., «Fibre reinforced cementitious composites», Elsevier Applied Science, Londres (1990), pages 309–377.
- [7] Steiner, T., «Kunststoffasern als Schwindbewehrung im Beton», exposé no XX, Darmstädter Massivbau-Seminar, volume 3 (1990).
- [8] Steiner, T., «Der mit Kunststoffasern bewehrte Beton», brochure de Fortatech AG, 2e édition (1991).
- [9] Koldewitz, W., «Anwendung von Kunststoff-Faserbeton», Beton **29** [6], 203–206 (1979).
- [10] Naaman, A.E. et Kosa, K., «Das Korrosionsverhalten von Faserbeton und Sifcon», exposé no VIII, Darmstädter Massivbau-Seminar, volume 3 (1990).
- [11] Bielak, E., «Herstellung von Faserbeton», exposé no XIV, Darmstädter Massivbau-Seminar, volume 3 (1990).
- [12] «Die Verarbeitung von Kurzschnitt-Fasern», Technische Information Dolanit de Hoechst AG (1990).
- [13] Meyer, B., «Bâtiment administratif et artisanal en éléments préfabriqués», Bulletin du ciment **59** [18] (1991).
- [14] Trüb, U., «Hommes en béton», Bulletin du ciment **50** [12], (1982).
- [15] Richardson, B. W., «High-volume polypropylene reinforcement for shotcrete», Concrete Construction **35** [1], 33–35 (1990).
- [16] Morgan, D.R., McAskill, N., Carette, G. G. et Malhotra, V.M., «Evaluation of Polypropylene Fibre Reinforced High-Volume Fly Ash Shotcrete», ACI Materials Journal **89** [2], 169–177 (1992).

Traduction française: Liliane Béguin

TFB

Pour tous autres renseignements s'adresser au
SERVICE DE RECHERCHES ET CONSEILS TECHNIQUES
DE L'INDUSTRIE SUISSE DU CIMENT WILDEGG/SUISSE
Case postale 5103 Wildegg Téléphone 064 57 72 72
Lindenstrasse 10 5103 Wildegg Téléfax 064 53 16 27