



# Projet

## Béton avec fibres de carbone précontraintes



## Béton précontraint à fibres de carbone et faible teneur en ciment : une alternative écologique

Le béton précontraint est normalement doté d'inserts en acier qui le rendent particulièrement résistant aux sollicitations. Cependant, les fibres de carbone pourraient bientôt se substituer à l'acier et rendre le béton plus écologique.



Le béton est précontraint pour le rendre plus résistant à la traction. *Source : Wikicommons/Michael Schmahl*





## En un coup d'œil

- Les éléments en béton précontraint peuvent être renforcés avec du carbone en lieu et place de l'acier, sans que cela n'altère leurs propriétés mécaniques.
- Du béton ultra-résistant à faible teneur en ciment pourrait, en outre, remplacer le béton courant.
- Grâce à ces deux innovations, le béton précontraint est nettement plus écologique et moins énergivore.

La construction d'un bâtiment est énergivore : la fabrication du béton utilisé, tout comme celle de l'acier, requièrent énormément d'énergie et génèrent des émissions de CO<sub>2</sub>. Par conséquent, du béton à basse énergie et des constructions sans acier pourraient contribuer de manière significative à la mise en œuvre de la Stratégie énergétique 2050. Dans le cadre de ce projet, des chercheuses et chercheurs de l'Empa et de l'EPF (École polytechnique fédérale) ont recherché des variantes écologiques au béton précontraint classique.

Le béton jouit d'une résistance élevée à la pression, mais ne supporte que très mal la traction. Comme le béton classique, le béton précontraint est renforcé avec des éléments en acier. Cependant, pour le rendre plus résistant à la traction, les câbles en acier qu'il contient sont mis en tension. Cela rend la structure du béton plus résistante aux sollicitations.



## Béton précontraint avec du carbone à la place de l'acier

Il existe déjà une alternative aux câbles en acier : des câbles de précontrainte en matériaux synthétiques renforcés de fibres de carbone. Les chercheuses et chercheurs ont étudié et amélioré la résistance à la charge et la rigidité de tels câbles. À cet égard, la manière dont les câbles se lient au béton est déterminante. C'est pourquoi, les scientifiques ont analysé des câbles de précontrainte hautement rigides en matériaux synthétiques renforcés de fibres de carbone et revêtus de sable (UHM-CFRP).

À l'aide de calculs et d'expériences, ils ont testé le comportement d'étirement des câbles avec différents revêtements sablés. Afin de déterminer le moment où les câbles lâchent, les chercheuses et chercheurs ont eu recours à la tomodensitométrie et à la microscopie électronique par balayage. Il est apparu que les caractéristiques d'étirement des câbles dépendaient de la rigidité longitudinale du câble de précontrainte. En revanche, la résistance de liaison maximale entre le câble de précontrainte enduit de sable et le béton dépend exclusivement du revêtement de sable choisi et non de la rigidité du câble précontraint.

## Béton ultra-résistant avec moins de ciment

Les recherches ne se sont pas limitées aux nouvelles variantes d'éléments de contrainte, mais ont aussi porté sur le béton lui-même. Le matériau le plus énergivore que contient le béton est le ciment, dont l'impact sur l'environnement est particulièrement important : la fabrication d'une tonne de ciment émet plus d'une demi-tonne de CO<sub>2</sub>. C'est pourquoi, l'équipe de recherche a développé un béton à basse énergie ultra-résistant, en remplaçant jusqu'à 70 % du ciment par d'autres matériaux, comme le calcaire, le métakaolin et la poussière de silice.

Ce faisant, les chercheuses et chercheurs ont développé trois nouvelles recettes, affichant respectivement une réduction de la proportion de ciment de 54, 58 et 70 %. La résistance à la pression mesurée pour les trois mélanges se situait entre 77 et 88 mégapascals, ce qui leur permet d'être classés comme « ultra-résistants ». En outre, du fait de leur proportion de ciment fortement réduite, ces mélanges présentent un comportement de retrait et des caractéristiques de fluage nettement améliorés : un énorme avantage pour le béton précontraint.



## Test sur des poutres en flexion précontraintes

Les deux nouveaux matériaux, à savoir les câbles en carbone revêtus de sable et le béton à faible teneur en ciment, ont ensuite été testés dans une structure : les chercheuses et chercheurs ont développé à cet effet des poutres porteuses précontraintes de trois mètres de long. Des capteurs à fibres optiques étaient intégrés dans les câbles de précontrainte, afin de déterminer de manière expérimentale les pertes de précontrainte. Comme prévu, les câbles en carbone ont présenté une perte de précontrainte. Grâce aux nouveaux mélanges de béton, celle-ci a toutefois pu être compensée – au moins partiellement.

Au bout du compte, les chercheuses et chercheurs ont conclu que les poutres porteuses fabriquées à partir des nouveaux matériaux étaient finalement supérieures aux poutres porteuses en béton classique et aux câbles en carbone utilisés jusqu'à présent.

## Des économies d'énergie massives

L'équipe de recherche a également calculé le bilan écologique du nouveau béton précontraint. En comparaison à une construction en béton armé, les nouveaux éléments en béton précontraint permettraient d'économiser jusqu'à 80 % d'énergie grise et 90 % des émissions de CO<sub>2</sub>. En outre, les nouveaux matériaux sont plus légers, ce qui réduit les coûts de transport et nécessite moins d'acier et de béton dans les fondations.

Le béton précontraint renforcé avec des câbles en carbone peut être transposé dans la pratique sans adaptations importantes. Cela contribuerait significativement à l'optimisation du bilan carbone des futures constructions. La dernière inconnue qui subsiste concerne la résistance de ces nouveaux matériaux dans le temps. Ce point est actuellement étudié dans le cadre d'un projet pluriannuel de l'Empa.



## Produkte aus diesem Projekt

- Bond Performance of Sand Coated UHM CFRP Tendons in High Performance Concrete  
Date de publication: 30.12.16
- Low clinker high performance concretes and their potential in CFRP-prestressed structural elements  
Date de publication: 30.10.19
- Transient Thermal Tensile Behaviour of Novel Pitch-Based Ultra-High Modulus CFRP Tendons  
Date de publication: 24.10.16
- Development of novel low-clinker high-performance concrete elements prestressed with high modulus carbon fibre reinforced polymers  
Date de publication: 30.10.19
- Verbundprojekt "Energiearmer Beton"  
Date de publication: 20.12.16



**Energie**

Programmes nationaux de recherche 70 et 71

## Team & Kontakt

Prof. Dr. Pietro Lura  
Concrete and Construction Chemistry  
Empa  
Überlandstrasse 129  
8600 Dübendorf  
  
+41 58 765 41 35  
[pietro.lura@empa.ch](mailto:pietro.lura@empa.ch)



Pietro Lura  
Projektleiter



Tobias Lämmlein

Le contenu de ce site représente l'état des connaissances au 17.12.2018.