

494.E - NOVEMBRE 2022

# RAPPORT DE VEILLE

INTÉRÊT DES RENFORTS TEXTILES  
POUR LES PRODUITS EN BÉTON

SUZANNE LE THIERRY - CARINE LACHAUD

**CERIB**  
Expertise concrète



# Intérêt des renforts textiles pour les produits en béton

## Rapport de veille

494.E

## Avant-propos

L'étude de veille a pour objectifs de détecter et de recenser les tendances sur un sujet, une problématique spécifique, d'effectuer un état des lieux, d'aboutir à une vision prospective si possible dans le but d'émettre des recommandations lorsque cela s'avère nécessaire.

Une étude de veille doit permettre à la Profession d'avoir une vision sur un marché émergent (exemple de sujet : le photovoltaïque intégré dans le bâti...), une technique émergente et ses débouchés possibles dans l'IB.

Une fois finalisée, chaque étude de veille pourra conduire, soit à une publication (rapport, Cerib Actus...), soit mener au lancement d'une E & R pour la phase expérimentale ou pour donner lieu à un rapport E&R de plus grande portée.

© 2018 CERIB – CS 10010 – 28233 Eperon Cedex

ISSN 0249-6224 – EAN 9782857553564

494.E – novembre 2022

Tous droits de traduction, d'adaptation et de reproduction  
par tous procédés réservés pour tous pays.

*Le Code de la propriété intellectuelle n'autorisant, aux termes des alinéas 2 et 3 de son article L. 122-5, d'une part, que les « copies ou reproductions strictement réservées à l'usage privé du copiste et non destinées à une utilisation collective » et, d'autre part, que les analyses et les courtes citations dans un but d'exemple et d'illustration, « toute représentation ou reproduction intégrale, ou partielle, faite sans le consentement de l'auteur ou de ses ayants droit ou ayants cause, est illicite » (article L. 122-4).*

*Cette représentation ou reproduction, par quelque procédé que ce soit, constituerait donc une contrefaçon exposant son auteur à des poursuites en dommages et intérêts ainsi qu'aux sanctions pénales prévues à l'article L. 335-2 du Code de la propriété intellectuelle.*

# Sommaire

---

<b>Introduction</b>	<b>5</b>
<b>1. Généralités sur les renforts textiles et les armatures de fibres</b>	<b>7</b>
1.1. Les fibres	7
1.2. L'ensimage/imprégnation	7
1.3. Les formes	8
1.3.1. Les renforts textiles	8
1.3.2. Formes de barres	9
1.4. Comportement mécanique	9
1.5. Résistance au feu	10
1.5.1. Caractéristiques mécaniques des fibres	10
1.5.2. Caractéristiques mécaniques des résines	11
1.5.3. Dilatation différentielle des renforts et du béton	12
1.5.4. Écaillage du béton	12
1.6. Projet C <sup>3</sup> Carbon Concrete Composite	12
<b>2. Nature des fibres, caractéristiques et fournisseurs</b>	<b>15</b>
2.1. Natures des fibres	15
2.1.1. Les fibres de verre AR	15
2.1.2. Les fibres de carbone	15
2.1.3. Les fibres de basalte	15
2.1.4. Les fibres d'aramide	16
2.1.5. Les autres fibres	16
2.1.6. Récapitulatif des caractéristiques des principales fibres utilisées dans les renforts textiles et les armatures de fibres	17
2.2. Produits disponibles sur le marché	17
2.2.1. V.FRAAS	17
2.2.2. SOLIDIAN	18
2.2.3. CHOMARAT	19
2.2.4. SAINT-GOBAIN ADFORS	20
2.2.5. BASALTEX	21
2.2.6. SGL Group	21
2.2.7. ZCF	22
2.2.8. Dr. GÜNTHER KAST	22
2.2.9. FORTIUS	23
2.2.10. TECHNOBASALT	24
2.2.11. SIREG GEOTECH	24
2.2.12. NEWREDIL	25
2.2.13. GAVAZZI	25
2.2.14. REFORCETECH	25
2.2.15. V-ROD	26
<b>3. Exemples d'application</b>	<b>27</b>
3.1. Façade en béton betoShell® de Hering	27

3.2	La façade de l'usine Alhabeton AG à Büron (Suisse)	27
3.3	Passerelle piétonne à Albstadt (Allemagne)	28
3.4	Système d'élévation et d'assainissement des quais (Allemagne)	29
3.5	Façade du bâtiment Barkhausen (Université de Dresde)	30
3.6	Pont routier Albstadt-Pfeffingen	30
3.7	Pont à Istanbul	31
3.8	Dallage de ponts piétonniers à Urbach et Weinstadt (Allemagne)	32
3.9	Garages préfabriqués	32
3.10	Pavillon modulaire à Fribourg	33
<b>4.</b>	<b>Évaluation technico-économique</b>	<b>34</b>
4.1	Renforts textiles	34
4.2	Armatures de fibres	34
	<b>Conclusion</b>	<b>35</b>
	<b>Bibliographie</b>	<b>36</b>
	<b>Annexes</b>	<b>37</b>
	Annexe 1 - Exemples de renforts textiles disponibles sur le marché	37
	Annexe 2 - Exemples d'armatures de fibres disponibles sur le marché	39
	<b>Index des figures</b>	<b>40</b>
	<b>Index des tableaux</b>	<b>41</b>

## Introduction

Les renforts textiles et les armatures de fibres sont des solutions alternatives aux aciers pour le renforcement des bétons. Composés de fibres très résistantes, telles que les fibres de verre ou de carbone, enrobées d'une matrice polymère, ils ne sont pas sujets à la corrosion et permettent donc une réduction des enrobages pour des produits plus fins et plus légers et donc plus économiques et écologiques. Esthétiquement, ils offrent une grande liberté de conception des formes.

Les armatures de fibres se présentent sous forme de barres alors que les renforts textiles se présentent sous la forme de treillis 2D ou 3D assemblés suivant des techniques de l'industrie textile.

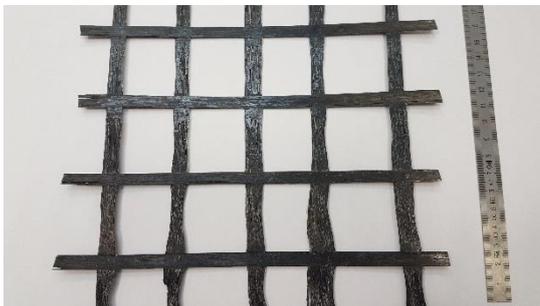


Figure 1 - Renfort 2D en fibres de carbone (Chomarar)



Figure 2 - Armatures en fibres de verre, basalte et carbone (Solidian)

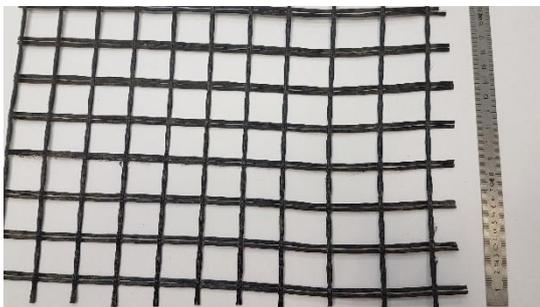


Figure 3 - Renfort 2D en fibres de verre AR (Saint-Gobain Adfors)

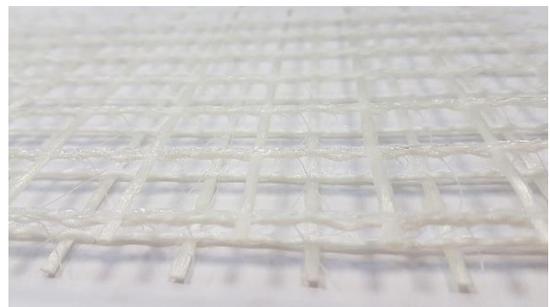


Figure 4 - Renfort 3D en fibres de verre AR

L'objet de ce rapport est de présenter les différents types de renforts textiles et d'armatures de fibres présents sur le marché : matériaux constitutifs, formes, performances, ainsi que des exemples de réalisation en béton renforcé de textile ou d'armatures de fibres.



# 1. Généralités sur les renforts textiles et les armatures de fibres

## 1.1. Les fibres

Les matériaux de base des renforts textiles et des armatures de fibres sont des filaments de matériaux très résistants et très fins. Selon le matériau utilisé, ces filaments ont généralement un diamètre compris entre 5 et environ 30  $\mu\text{m}$  [1].

Les propriétés mécaniques, physiques et chimiques ainsi que la proportion, la disposition et l'interaction des fibres utilisées comme renfort au sein du béton ont une influence considérable sur le comportement mécanique du béton. Le module d'Young des filaments ainsi que les conditions d'adhérence entre le renfort et le béton doivent être suffisamment élevés afin de contrôler l'ouverture des fissures du béton textile et contribuer à la rigidité de celui-ci. Aussi, afin d'assurer la durabilité du béton textile, la nature des fibres utilisées doit être chimiquement compatible avec un milieu très alcalin. Les fibres doivent montrer une relaxation limitée sous chargement constant.

Les fibres en verre AR (alcali résistant), basalte, aramide et carbone sont celles que l'on trouve le plus souvent pour une utilisation dans le béton sous la forme de renfort textile ou d'armature de fibre.

## 1.2. L'ensimage/imprégnation

En assemblant des filaments de très petits diamètres, on obtient des espaces microscopiques entre les différentes fibres à travers lesquelles même les plus fines particules de béton ne peuvent pas pénétrer. Dans ce cas, et étant donné que le cœur des fils ne serait pas en contact avec le béton, seuls les filaments extérieurs supporteraient les charges. En conséquence, le taux d'utilisation du fil ne serait que très faible. Pour être utilisées de manière optimale, les fibres doivent donc être « assemblées », par ensimage. La matrice d'imprégnation est bien plus fine que celle du béton et peut pénétrer au cœur du fil et, par conséquent, activer les filaments intérieurs pour la transmission des charges.

L'imprégnation avec des résines synthétiques comme la résine époxy ou le styrène butadiène s'est avérée particulièrement efficace pour améliorer l'adhérence entre les fibres et le béton [1]. Les performances varient suivant la résine d'imprégnation utilisée.

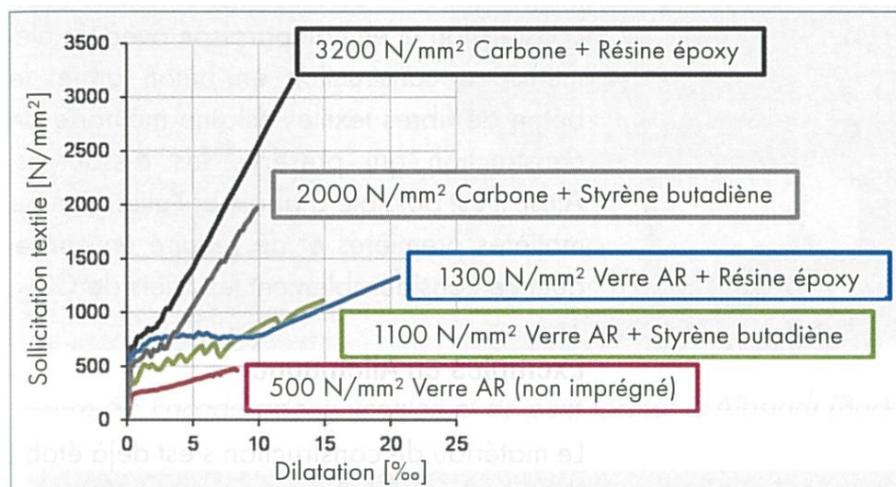


Figure 5 : Effet de l'imprégnation des fibres sur la contrainte à la rupture [1]

## 1.3. Les formes

### 1.3.1. Les renforts textiles

Dans les textiles, on nomme fil de chaîne (warp en anglais) le fil disposé dans la longueur et fil de trame (weft en anglais) le fil disposé dans la largeur. C'est l'entrecroisement de ces deux fils qui donne un textile.

Il existe des renforts en trois dimensions composés d'un assemblage de plusieurs textiles en deux dimensions.

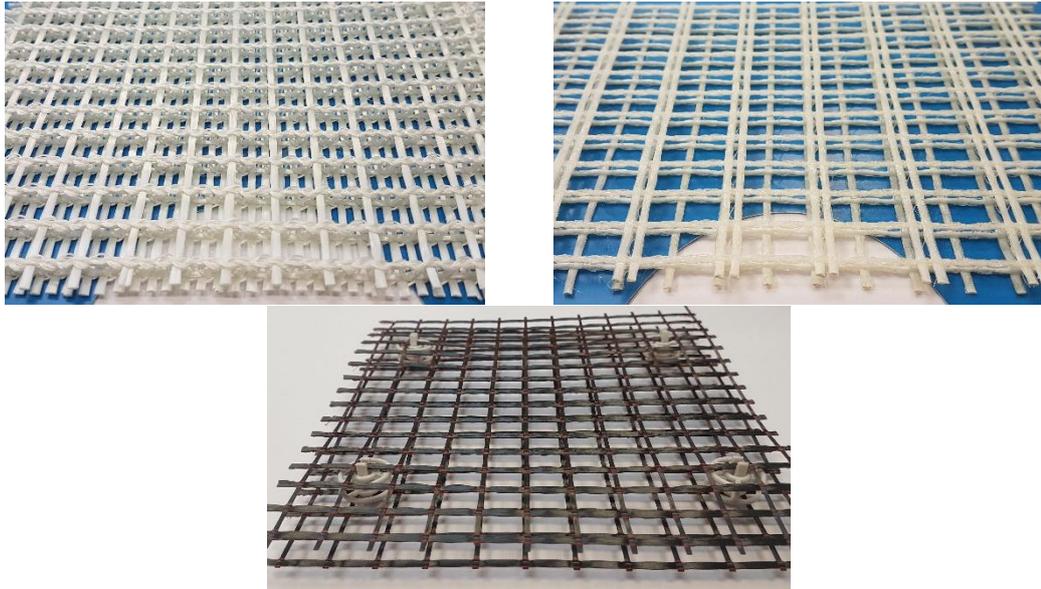


Figure 6 – Renfort textile en fibres de verre, basalte et carbone

Certains fabricants proposent des produits préformés pouvant s'adapter à des produits de formes complexes.

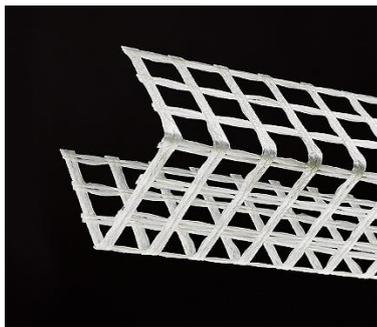


Figure 7 – Profilé en U (Solidian)

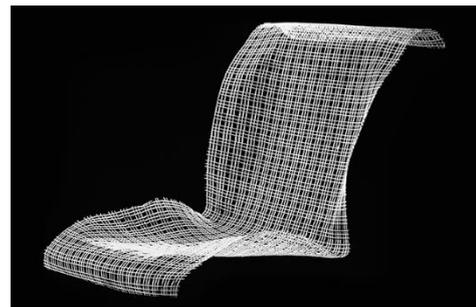


Figure 8 – Renfort préformé pour un siège (www.solidian.com)

### 1.3.2. Formes de barres

Les armatures en fibres renforcées au polymère sont constituées de fibres maintenues dans une résine. Elles sont généralement composées de 80 % de fibres et 20 % de résine polymérique en volume.

Les armatures en fibres renforcées au polymère se présentent sous des formes variées. Elles existent principalement :

- en barre de 3, 6 et 12 m avec des diamètres allant de 4 à 32 mm ;
- en plat de largeur pouvant atteindre 80 mm et d'épaisseur comprise entre 1,2 et 1,4 mm ;
- fils destinés à être précontraints.

Les armatures transversales déjà façonnées à la fabrication existent sous formes de cadres, d'étriers et d'épingles. Les barres sont souvent texturées pour améliorer leur adhérence dans le béton.



Figure 9 – Barres d'armatures en fibres de basalte (Technobasalt)



Figure 10 – Barres d'armatures en fibres de verre et de carbone (Solidian)

## 1.4. Comportement mécanique

La loi de comportement contrainte-déformation des renforts de fibres est élastique linéaire (voir figure ci-dessous).

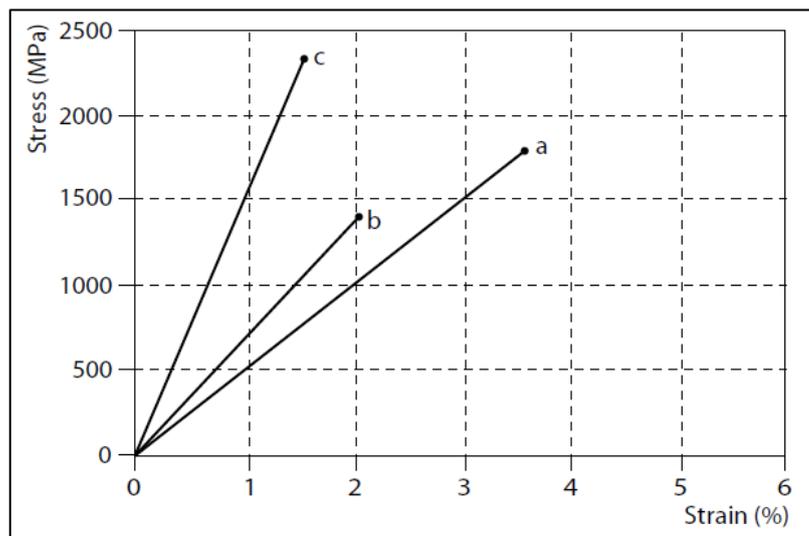


Figure 11 – Diagrammes contraintes déformations de renforts textiles [4]  
Renforts en fibres – a : verre, b : aramide, c : carbone – avec résine époxy

La figure 12 représente la loi contrainte-déformation d'un béton renforcé de textile sous chargement soumis à une charge de traction. Son comportement peut être divisé en trois parties. La première partie (I) correspond à l'état sans fissure où seule la matrice cimentaire

contribue à la résistance du matériau, la contribution des renforts étant négligeable. À ce moment, le béton renforcé de textile présente un comportement élastique linéaire. Une fois la résistance du béton atteinte, la première macro-fissure apparaît. La seconde partie (IIa) correspond à la région de formation de fissures. À chaque fois que la résistance en traction du béton est atteinte dans une nouvelle section de l'éprouvette, une nouvelle fissure apparaît. La charge est alors transférée au renfort par le biais de celle-ci. La longueur de cette portion de la courbe dépend de la qualité de l'adhérence entre le béton et le renfort, de la nature de la fibre et de sa géométrie. Dans la partie suivante (IIb), seul le renfort contribue à la résistance du matériau. Elle correspond à l'élargissement des fissures. Enfin, la dernière partie (III) correspond à la ruine du matériau, lorsque la résistance du renfort est atteinte à son tour.

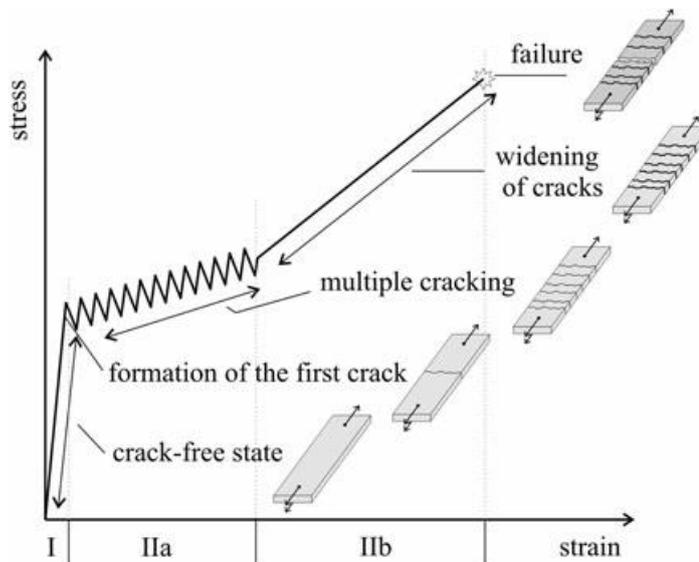


Figure 12 – Loi contrainte/déformation en traction d'un béton textile [5]

Les renforts textiles ont généralement un comportement différent entre le sens longitudinal (chaîne) et le sens transversal (trame) car ils ne sont pas toujours composés du même nombre de fibres dans les deux sens.

## 1.5. Résistance au feu

La justification de la tenue au feu d'une structure consiste à assurer le compartimentage de l'incendie pour éviter sa propagation. Elle passe par la vérification des critères R, E et I – Résistance, Étanchéité aux fumées et flammes et Isolation de la face non exposée – pendant un temps d'exposition au feu donné.

L'intégration de renforts à base de fibres dans un élément structurel en béton peut modifier le critère R. Néanmoins, il existe aujourd'hui relativement peu d'essais portant sur la résistance au feu de structures en béton armé de renforts textiles. Le présent paragraphe donne les problématiques et premières observations existantes sur le sujet.

### 1.5.1. Caractéristiques mécaniques des fibres

De la même manière que pour l'acier de béton armé, les caractéristiques mécaniques des fibres textiles diminuent à hautes températures. La résistance à la traction des fibres susceptibles d'être utilisées dans les renforts pour structures en béton armé a été étudiée (figure 13). Elle est comparée à la dégradation des caractéristiques de l'acier avec la température (figure 14).

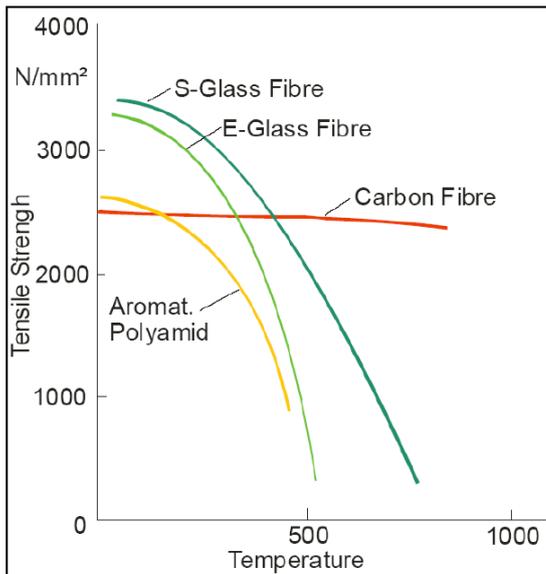


Figure 13 – Résistance à la traction des fibres de renforts textiles en fonction de la température [2]

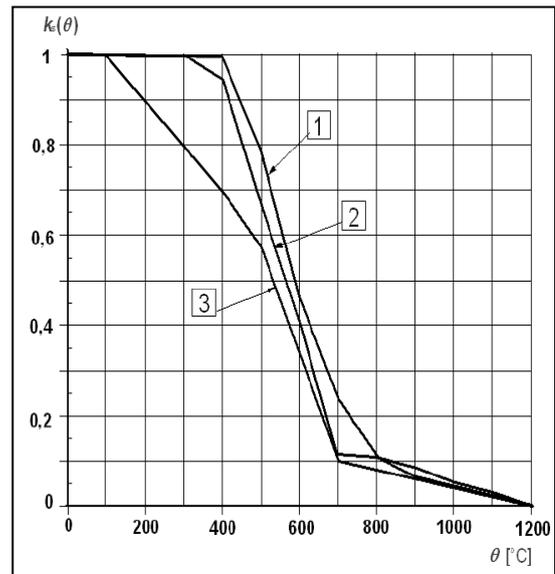


Figure 14 – Résistance à la traction de l'acier de béton armé en fonction de la température [6]

1 – armatures tendues (acier laminé à chaud) pour déformations  $\geq 2\%$

2 – armatures tendues (acier formé à froid) pour déformations  $\geq 2\%$

3 – armatures comprimées ou tendues pour déformations  $< 2\%$

Par comparaison, la résistance à la traction de l'acier commence à chuter sensiblement pour une température de 400 °C ; sa résistance résiduelle est de 60 % à 500 °C, 15 % à 750 °C. On observe que les fibres de verre ont un comportement similaire à l'acier, tandis que la résistance des fibres de carbone ne diminue que très peu à hautes températures. Les fibres d'aramide présentent la chute de résistance la plus rapide. À noter également, les excellentes performances des fibres de basalte (non représentées sur la figure 13), peu utilisées pour l'instant dans les structures en béton, laissent envisager la possibilité de développer des fibres spécifiques pour les applications demandant une résistance au feu.

La chute du module d'élasticité des renforts textiles et des armatures de fibres avec la température a été comparativement peu étudiée, et des travaux supplémentaires sont à mener pour connaître l'évolution de la loi de comportement contrainte-déformation des renforts avec la température.

### 1.5.2. Caractéristiques mécaniques des résines

L'imprégnation des fibres dans une résine pour améliorer leur adhérence et leur durabilité peut s'avérer préjudiciable dans le cas de leur tenue au feu. Les caractéristiques mécaniques des résines se dégradent généralement très rapidement avec la température. Katz et al. ont observé une réduction de 20 à 40 % à 100 °C, 80 à 90 % à 200 °C [7]. La chute de leur résistance au cisaillement peut entraîner une ruine prématurée de l'élément par perte de l'adhérence entre fibres et béton. Des travaux sont actuellement menés pour améliorer les performances des résines d'imprégnation sous hautes températures (incorporation d'halogènes dans les résines polyester, ajout d'un revêtement extérieur compressible...) [4].

### 1.5.3. Dilatation différentielle des renforts et du béton

La différence dans le coefficient de dilatation thermique des renforts et du béton peut également être préjudiciable lors de leur montée en température. La condition d'adhérence parfaite est incompatible avec une dilatation différentielle des deux matériaux ; cette situation se traduira soit par des contraintes internes suite aux déformations empêchées, soit par une perte de l'adhérence. Ce phénomène est amplifié avec des renforts à coefficients de dilatation thermique négatifs, à savoir l'aramide et le carbone. À noter qu'un coefficient de dilatation thermique négatif des armatures pourra mener à une diminution de la flèche thermique, voire dans certains cas de figure à un inversement de celle-ci.

Matériaux	Coefficient de dilatation thermique ( $10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ )
Acier	12
Verre E	5
Verre AR	7,9
Carbone	-1,2 / -0,1
Aramide	-2
Basalte	7

Tableau 1 – Coefficients de dilatation thermique de différents matériaux

### 1.5.4. Écaillage du béton

L'éclatement du béton d'enrobage, mettant à nu les armatures et accélérant leur dégradation, est une problématique présente dans les structures en béton armé et favorisée par l'usage de renforts textiles. La dilatation transversale importante des polymères en rapport à celle du béton crée des contraintes radiales élevées dans la zone d'enrobage ; une nouvelle fois, le carbone et l'aramide sont concernés. De plus, la faible perméabilité des bétons fins optimisés pour les renforts textiles aggrave la montée de pression interne lors de la vaporisation de l'eau présente dans le béton. Tous ces facteurs augmentent la probabilité d'éclatement lors de l'incendie.

La conception d'une structure stable au feu passe par le choix d'un renfort textile approprié, chaque composant ayant ses caractéristiques propres : les fibres de carbone présentent une bonne stabilité au feu mais se dilatent différemment du béton, tandis que les fibres de verre montrent un comportement opposé. En ce qui concerne la résine entourant les fibres, les produits utilisés aujourd'hui perdent en raideur et qualité d'adhérence très rapidement lors de l'incendie, mais les travaux récents sur le sujet montrent qu'il est possible d'améliorer les performances de ces produits vis-à-vis de leur résistance au feu.

## 1.6. Projet C<sup>3</sup> Carbon Concrete Composite

C<sup>3</sup> - Carbon Concrete Composite est l'un des 10 projets du programme « Zwanzig20- Alliance for Innovation » financé par le Ministère fédéral de l'éducation et de la recherche en Allemagne. Ce programme d'excellence vise à mettre en relation des compétences scientifiques, technologiques et économiques dans l'ex Allemagne de l'Est (Dresde). Dans le cas particulier du projet C<sup>3</sup> – Carbon Concrete Composite, il s'agit d'un consortium interdisciplinaire de plus de 170 partenaires qui a pour objectif de remplacer progressivement 20 % du béton armé, qui

a une durée de vie limitée à cause de la corrosion de l'acier, par du béton renforcé de fibres de carbone.

<https://www.bauen-neu-denken.de/>

Le premier bâtiment en fibres de carbone d'Allemagne, appelé « CUBE », est actuellement en construction sur le campus de l'université technique de Dresde. La construction de ce bâtiment à deux niveaux, d'une surface au sol de 200 m<sup>2</sup> représente un investissement d'environ 5 millions d'euros.

<https://www.archdaily.com/9796306/what-is-carbon-concrete>



## 2. Nature des fibres, caractéristiques et fournisseurs

---

### 2.1 Natures des fibres

Il existe différents types de fibres qui peuvent être utilisés dans les renforts textiles et les armatures de fibres. Les fibres de verre AR (alcali résistant), basalte, aramide et carbone sont celles que l'on retrouve le plus souvent. Elles sont décrites dans les paragraphes suivants.

#### 2.1.1. Les fibres de verre AR

La fibre de verre est obtenue en mélangeant de la silice, de l'argile et du calcaire à plus de 1 350 °C. Le verre en fusion se transforme en filament en étant étiré à grande vitesse (entre 25 et 150 m/s), jusqu'à obtenir des filaments de diamètre compris entre 5 et 27 µm [2]. Les filaments sont ensuite agglomérés par ensimage afin de former un fil : 400 à 6 600 filaments peuvent être utilisés pour former un fil.

Le verre alcali-résistant (verre AR) a été conçu spécialement pour être utilisé comme renfort dans le béton. Il contient une proportion de zirconium supérieure à 15 % afin d'assurer sa stabilité en milieu alcalin, alors que le verre E n'en contient pas. Néanmoins, l'ensimage des fibres permet de les protéger d'un milieu alcalin.

Avec une densité de 2,7, la fibre de verre est plus lourde que les fibres de carbone et d'aramide, mais son adhérence avec le béton est très bonne. Les propriétés mécaniques des fibres de verre AR dépendent de la finesse du fil : la résistance peut aller jusque 1 700 MPa. Tout comme l'acier, les fibres de verre ont un coefficient de dilatation thermique proche de celui du béton, ce qui favorise leur utilisation dans le béton. La tenue au feu des fibres de verre est proche de celle de l'acier [2].

#### 2.1.2. Les fibres de carbone

La fibre de carbone est actuellement l'une des fibres présentant les performances mécaniques les plus élevées (résistance, rigidité) rapportées à sa masse volumique.

Les fibres de carbone commercialisées sont composées de 1 000 à 160 000 filaments parallèles. Elles présentent comme avantage considérable dans le domaine de la construction d'être très légères (densité de 1,8), peu sensibles au fluage et aux solvants acides, alcalins et organiques [2] [3]. Le principal inconvénient des fibres de carbone est leur coût élevé. On peut également noter que l'adhérence avec le béton n'est généralement pas aussi bonne que celle du verre AR [2]. La résistance des fibres de carbone est relativement stable en température. Cependant, le coefficient de dilatation thermique des fibres de carbone est différent de celui du béton et dans le sens contraire (entre  $-1,2 \cdot 10^{-6}$  et  $-0,1 \cdot 10^{-6} \text{ °C}^{-1}$  pour les fibres de carbone contre  $9 \cdot 10^{-6}$  à  $12 \cdot 10^{-6} \text{ °C}^{-1}$  pour le béton), ce qui nécessite de valider l'interface entre le renfort de fibre et le béton lors de différentiels de température importants.

#### 2.1.3. Les fibres de basalte

Le basalte est une roche volcanique issue d'un magma refroidi rapidement au contact de l'eau ou de l'air. Les fibres de basalte sont obtenues de la fonte de la roche de basalte à 1 400 °C, qui est ensuite extrudée pour produire les filaments continus de fibre de basalte.

Les fibres de basalte possèdent de bonnes propriétés physico-mécaniques et résistent au feu à une température d'utilisation élevée (820 °C), comme les fibres de carbone, tout en étant beaucoup moins coûteuses. Les fibres de basalte possèdent également une bonne mouillabilité et n'absorbent pas l'humidité. Cette caractéristique est très importante car elle facilite la mise en œuvre du renfort au sein du béton limitant ainsi l'absorption d'eau du béton.

La fibre de basalte présente aussi a priori une bonne résistance aux produits chimiques (acides forts, bases, solvants), une très bonne résistance à la corrosion et aux rayonnements UV [3]. Peu d'éléments ont été recensés quant à leur résistance aux alcalins.

#### 2.1.4. Les fibres d'aramide

L'aramide est obtenu par polycondensation entre le paraphénylènediamine et le chlorure de terephthalyle dans un solvant organique. Le polymère obtenu est ensuite dissout dans de l'acide sulfurique, pour ensuite être introduit dans une filière et filé. Les filaments sont refroidis par jet d'air puis lavés, séchés et bobinés.

Grâce à leurs performances mécaniques (résistance à la traction et module d'élasticité), les fibres d'aramide font partie des fibres hautes performances.

Par rapport aux fibres de carbone et de verre, les fibres d'aramide possèdent une densité plus faible ( $1,4 \text{ kg/m}^3$ ) et une résistance au cisaillement et aux impacts plus élevés. Les fibres d'aramide résistent plutôt bien à haute température [4]. Cependant, tout comme les fibres de carbone, le coefficient de dilatation thermique associé aux fibres d'aramide est négatif et constitue donc une potentielle limite dans la perspective de l'emploi de cette fibre dans le béton. Une autre potentielle limite de l'aramide peut être sa sensibilité au milieu alcalin. Cependant, de nouvelles fibres d'aramide telles que les Technora® présentent un meilleur comportement en milieu alcalin, tout en conservant d'excellentes caractéristiques mécaniques (une résistance de 3,3 GPa et un module d'Young de 73 GPa).

#### 2.1.5. Les autres fibres

D'autres fibres plastiques, déjà utilisées en fibres courtes dans le béton grâce à leur très bonne résistance en milieu alcalin, peuvent être utilisées comme renfort textile. On peut notamment citer les fibres d'acétate de polyvinyle (PVA) et de polypropylène. Les fibres de polypropylène et les fibres de polyéthylène haute densité (HDPE) ne peuvent cependant pas être utilisées comme renfort, à cause de leur module d'Young trop faible.

## 2.1.6. Récapitulatif des caractéristiques des principales fibres utilisées dans les renforts textiles et les armatures de fibres

Nature des fibres	Densité	Résistance (MPa)	Module d'Young (GPa)	Allongement à la rupture (%)	Coefficient de poisson	Coefficient de dilatation thermique ( $10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ )
Acier	7,5 - 8,1	300 - 3 000	200	1,3 - 1,8	0,24 - 0,30	12
Verre E	2,6	1 100 - 1 550	72 - 73	1,8	0,22	5
Verre AR	2,7	1 100 - 1 700	74 - 76	1,8	0,25	7,9
Carbone haute résistance (HT)	1,8 - 2,0	3 000 - 5 000	200 - 250	1,8	0,3	-0,6 / -0,2
Carbone haut module (HM)	1,8 - 2,0	2 000 - 4 500	350 - 450	0,8	0,35	-1,2 / -0,1
Para-aramide (N)	1,4	3 000	60	5	0,35	-2
Para-aramide haut module (HM)	1,4	3 000	130	2,3	0,35	-2
Basalte	3	1 800	85	2,1	0,25	7
Acétate de polyvinyle (PVA)	1,3	880 - 1 600	25 - 40	6	-	-

Tableau 2 - Caractéristiques générales des principales fibres utilisées dans les renforts textiles et les armatures de fibres

## 2.2. Produits disponibles sur le marché

Ce paragraphe présente les produits qu'il a été possible de recenser au moment de l'écriture de ce rapport. Cette liste peut ne pas être exhaustive.

### 2.2.1. V.FRAAS

La société allemande V. FRAAS propose depuis 2008 des solutions textiles innovantes pour des applications dans le secteur de la construction, de l'automobile ou encore l'aérospatiale. Les produits proposés sont en majorité des textiles tricotés en deux ou trois dimensions. Les matériaux utilisés sont très variés : fibre de carbone, fibre d'aramide, fibre de basalte, et matériaux hybrides.

SITgrid® est une gamme de textiles tricotés en trois dimensions en fibre de verre ou de carbone. Des exemples de renforts 2D en fibre de verre, de renfort 3D en fibres de verre et de renfort 2D en fibre de carbone sont présentés ci-dessous.

	SITgrid200KE	SITgrid701KE	SITgrid017KB
Structure	2D	3D	2D
Nature des fibres	Verre AR	Verre AR	Carbone
Taille des mailles	20 x 20 mm	20 x 20 mm	10 x 8,5 mm
Résistance à la traction Warp - weft	168 - 180 kN/m	67 - 71 kN/m	571 kN/m
Module d'élasticité	72 GPa	72 GPa	250 GPa

Tableau 3 - Caractéristiques principales de 3 exemples de renforts proposés par la société V. FRAAS



Figure 15 – Renfort 2D  
SITgrid200KE



Figure 16 - Renfort 3D  
SITgrid701KE



Figure 17 – Renfort 2D  
SITgrid017KB

### 2.2.2. SOLIDIAN

La société Solidian produit des renforts textiles et des armatures de fibres, à base de fibres de verre et de carbone produites en Croatie par la société Kelteks. En France, la distribution est assurée par la société BSC (Béton Stone Consulting).

Ces renforts sont en fibres de verre ou de carbone, de forme plate ou courbe. Les renforts textiles recouverts de résine époxy sont disponibles sous forme de natte ou sous forme de rouleau. Ces renforts peuvent être profilés en forme de L ou en U pour réaliser des éléments courbes en béton préfabriqué.

Il existe une gamme de 8 renforts plats en fibres de carbone et en fibres de verre de dimensions différentes (Gamme SOLIDIAN GRID)

Ces panneaux (5,0 x 1,2 m) peuvent être utilisés pour la fabrication de panneaux de façades, de panneaux sandwich, la construction de ponts ou de garages en béton.

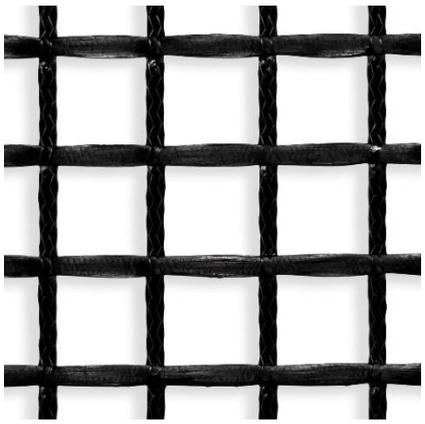
Solidian GRID Q142/142-CCE-38		
Structure	2D	
Nature des fibres	Carbone	
Taille des mailles	38 x 38 mm	
Résistance à la traction (warp - weft)	355 kN/m 397 kN/m	
Module d'élasticité	> 180 GPa	

Tableau 4 – Exemple de renfort au carbone de la société Solidian

Solidian produit également des barres de renfort en fibres de verres AR et E, fibres de basalte et fibres de carbone de diamètres 4 à 12 mm. Elles sont destinées à la construction de ponts, aux applications marines, aux tunnels ainsi qu'aux structures exposées à de fortes contraintes. Lors de leur fabrication, les polymères renforcés de fibres en verre AR, ECR, basalte et carbone sont réunis dans un bain de résine spéciale et sont donc particulièrement robustes. Ces renforts sont fabriqués par pultrusion.



Figure 18 – Armatures de fibres de basalte, fibres de verre et fibres de carbone

### 2.2.3. CHOMARAT

Chomarar est un groupe français, basé en Ardèche, qui propose un ensemble de solutions de renforts, textiles ou non, en fibres de verre, carbone, aramide ou autres plastiques.

C-GRID® est une gamme de renforts légers en fibres de carbone, résistants et non corrosifs, fabriquée spécialement pour l’armature interne du béton. Les applications actuelles sont variées : panneaux de murs sandwich isolants haute performance (PTI), revêtements architecturaux, éléments de toiture, murs de terre stabilisés, murs antibruit, quais flottants et jetées, construction en milieu marin, piles de pont préfabriquées, tuyaux.

Bien que la majorité des utilisations de C-GRID® dans le béton préfabriqué soit pour le renforcement secondaire et le remplacement du treillis soudé, certaines applications utilisent C-GRID® comme renfort primaire.

C-GRID®	
Nature des fibres	Carbone
Ensimage	Époxy
Type de renfort	Grille
Taille des mailles	de 40 à 90 mm
Résistance à la traction (warp & weft)	Jusqu’à 97 kN/m
Module d’élasticité	234 GPa



Tableau 5 : Caractéristiques techniques du C-GRID®

C-GRID® est disponible sous forme de rouleaux ou découpé à des dimensions spécifiques. Sa mise en œuvre est facile car ce produit est très léger, flexible, et facile à couper et à manipuler (figure 19).



Figure 19 – Mise en œuvre de C-GRID®

#### 2.2.4. SAINT-GOBAIN ADFORS

ADFORS, entreprise du groupe Saint-Gobain, propose une gamme de textiles techniques de renforcement pour le marché de l'industrie et de la construction. Ces renforts tissés ou tricotés sont à base de fibres de verre.

Actuellement, ces produits sont surtout utilisés dans le renfort de mortier (enduits et chape). Les propriétés de deux exemples de produits proposés par Saint-Gobain Adfors et pouvant être utilisés dans les bétons sont résumées dans le tableau ci-dessous. Il s'agit de la gamme Vertex.

	G120	SRG 45
<b>Nature des fibres</b>	Verre E	Verre AR
<b>Ensimage</b>	Alcali-résistant	Polymère acrylique modifié
<b>Taille des mailles</b>	40 x 40 mm	25 x 25 mm
<b>Résistance à la traction</b>	30 kN/m	45 kN/m
<b>Module d'élasticité</b>	60 GPa	60 GPa

Tableau 6 – Caractéristiques de deux produits proposés par Saint-Gobain Adfors

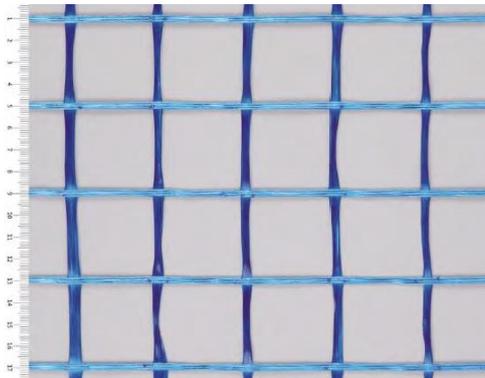


Figure 20 – Renfort G120

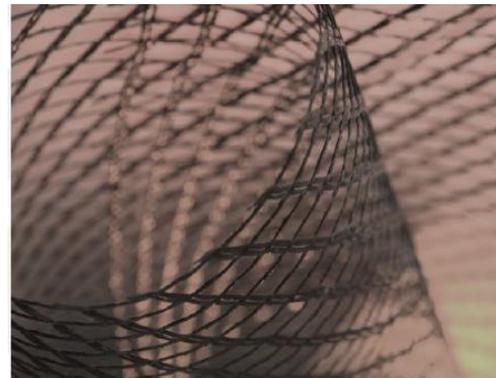


Figure 21 – Renfort SRG 45

Ces deux produits sont facilement disponibles en Europe. Ils sont vendus sous la forme de rouleaux de 50 m par 1 mètre de large (largeur standard). Si besoin, la largeur des rouleaux peut être augmentée jusqu'à 3 mètres. La mise en œuvre de ces produits est très simple car ils peuvent être découpés aux ciseaux.

### 2.2.5. BASALTEX

La société belge BASALTEX produit des renforts en fibres de basalte. Les principales applications de ces produits sont le renfort de matériau composite, la protection contre le feu et l'isolation thermique : ils sont donc utilisés dans le secteur de l'automobile (intérieur et extérieur), du sport (raquettes tennis, skis...), de la construction et du transport (panneaux incendie).

Le produit Basalt Geogrid 200 peut présenter un intérêt pour les produits préfabriqués en béton.

Basalt Geogrid 200	
Nature des fibres	Basalte
Poids du renfort ensimé	200 g/m <sup>2</sup>
Taille des mailles	11 x 12 mm
Résistance à la traction (warp - weft)	25 kN/m - 45 kN/m
Module d'élasticité	Non communiqué



Tableau 7 : Caractéristiques techniques du Basalt Geogrid 200

### 2.2.6. SGL Group

SGL Group est le principal fabricant de produits en carbone en Europe. Le groupe possède toute une gamme de renforts textiles nommée SIGRATEx®, en fibres de carbone et de renforts textiles hybride en carbone/verre ou carbone/aramide. Leur maillage est très fin (figure 22).

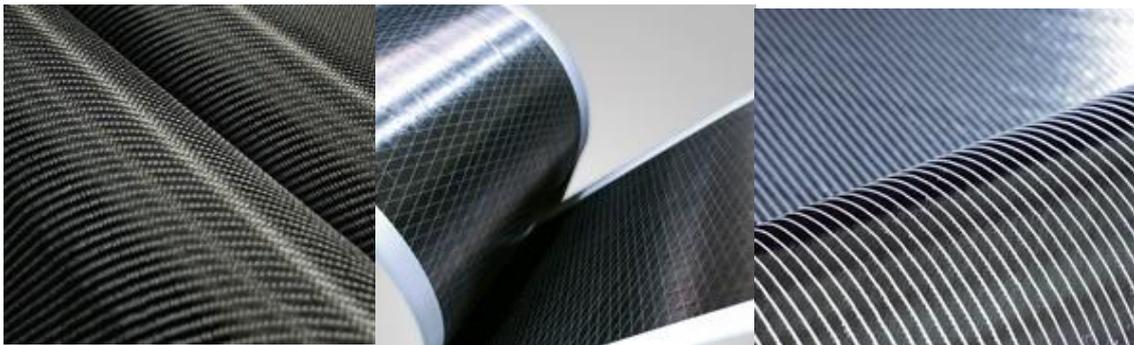


Figure 22 - Exemples de produits SIGRATEx®

### 2.2.7. ZCF

Znamensky Composite Factory est une société russe située à Kalinigrad qui produit des treillis et armatures en fibre de verre recouverts de résine.

Le treillis est constitué de barres reliées à l'angle droit, de différents diamètres (1,7 ; 2 ; 2,5 ; 3 mm) qui forment des cellules carrées 50 x 50, 100 x 100, 150 x 150 cm. Il est fabriqué en forme de panneaux ainsi qu'en rouleaux d'un mètre de largeur et d'une longueur de 10 à 100 m.

Le treillis en verre-résine est utilisé pour le renforcement des murs et des planchers en béton. Les armatures sont réalisées en composite constitué de fibres de verre et de nanostructures en polymères de carbone.

- Diamètre de la barre - 4 à 20 mm ;
- Exploitation dans les températures de -70 à +180° C ;
- Résistance accrue au feu, à la corrosion, aux alcalins ;
- Résistance à la rupture à partir de 1350 MPa;
- Module d'élasticité à partir de 65 GPa.



Figure 23 – Armatures de verre de la société ZCF

### 2.2.8. Dr. GÜNTHER KAST

Dr Gunther Kast est une société allemande fabricant des textiles techniques pour le domaine du bâtiment et le renfort des structures en béton notamment.

Le renfort textile AR pour éléments préfabriqués existe en 3 dimensions et poids :

- AR 118 – 120g – 11,4 x 10,5 mm
- AR 539 - 190g – 10,9 x 10,0 mm
- AR 508 – 290 g - 7,7x 7,7 mm

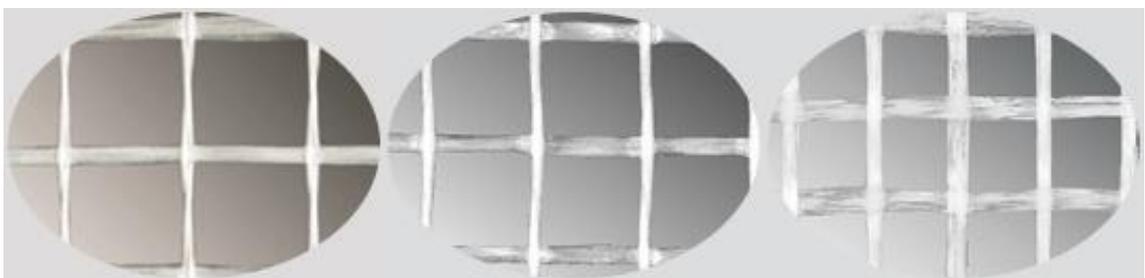


Figure 24 – Renforts textiles Dr. Günther Kast

### 2.2.9. FORTIUS

Fortius est une société belge qui commercialise des produits de renforcement du béton, notamment des armatures en fibre de verre AR ainsi que des stratifiés en fibres de carbone pour le renforcement externe du béton.

Les barres d'armature en fibres de verre sont fabriquées à partir de brins de fibre de verre. Pour améliorer son adhérence, l'extérieur de la barre est déformé et recouvert de sable grossier. Ces barres sont fabriquées par pultrusion et sont disponibles dans les tailles 6 mm à 32 mm.

Elles sont utilisées pour la fabrication d'éléments minces préfabriqués en béton, comme les panneaux de façades ou balcons mais aussi pour les ouvrages maritimes soumis à la corrosion et les tunnels.



Figure 25 – ASLAN 100 GFRP FIBERGLASS REBAR

Les treillis Fort-mesh GFRP sont des treillis d'armature monolithique pour béton composé de fibres continues de verre résistant à la corrosion recouvertes d'une résine polyester.



Figure 26 – Treillis Fort-Mesh en fibres de verre

### 2.2.10. TECHNOBASALT

La société Technobasalt, basée en Ukraine, produit des fibres et des barres de renfort en basalte.

Les barres de renfort sont utilisées pour diverses applications dans le domaine du BTP : routes, ponts, chapes, éléments préfabriqués en béton. Elles sont fabriquées à l'aide de mèches de basalte continues ensimées avec un composé polymère.



Figure 27 - Barres Technobasalt en basalte

### 2.2.11. SIREG GEOTECH

Sireg est une société italienne qui commercialise :

- des barres d'armatures en fibres de verre, en fibres de carbone ou en fibres d'aramide ;
- des renforts textiles en fibres de verre, de carbone et d'aramide.

Les armatures GLASSPREE® sont réalisées avec des renforts en fibres de verre par pultrusion imprégnées de résine vinylester. Elles sont résistantes à la corrosion et offrent une durée de vie plus longue aux structures en béton.



Figure 28 - Barres en fibre de verre



Figure 29 - Treillis en fibre de verre

Les cages d'armature en fibres de verre Durglass® sont utilisées pour les tunnels pour permettre le passage du tunnelier lorsqu'il devra percer la paroi moulée pour assurer le creusement du tunnel principal.

### 2.2.12. NEWREDIL

Newredil, fabricant italien d'éléments de coffrage, est, depuis juillet 2018, une filiale de Chryso.

RUREDIL X BAR est un système de connexion constitué de barres en fibre de carbone pultrudées à adhérence améliorée, obtenues par sablage au jet, avec des diamètres différenciés pour répondre aux différents besoins structurels.

RUREDIL X BAR peut être utilisé pour le renforcement par cisaillement et flexion de structures en béton ou en maçonnerie.



Figure 30 - Barres en fibre de carbone RUREDIL X BAR

### 2.2.13. GAVAZZI

GAVAZZI est une société italienne qui fabrique des treillis en fibres de verre AR pour le renforcement et la réparation des structures existantes ainsi que pour la construction de nouveaux bâtiments.

Les panneaux de façade préfabriqués peuvent être produits à l'aide des treillis "AR GAVAZZI®". Ces treillis peuvent également être utilisés pour la fabrication d'éléments de toiture légers pour bâtiments industriels et pour renforcer les segments de tunnels.



Figure 31 - Treillis en fibres de verre AR - AR GAVAZZI

### 2.2.14. REFORCETECH

Cette société norvégienne fabrique une gamme complète d'armatures composites pour le béton : MiniBars™ et BasBars™.

ReforceTech MiniBars™ est un composite breveté fabriqué à partir de fibres de verre AR et/ou de fibres de basalte. ReforceTech BasBars™ sont des barres d'armature en fibre de basalte brevetées disponibles dans la plupart des géométries.



Figure 32 – MiniBars™ ReforceTech

La société produit aussi des renforts textiles en basalte pour les routes et autoroutes.

### 2.2.15. V-ROD

V-ROD est une société canadienne qui produit des armatures en fibres de carbone et de verre.



Figure 33 – Barres en fibres de verre

### 3. Exemples d'application

#### 3.1 Façade en béton betoShell® de Hering

Le groupe allemand Hering – spécialisé dans la conception et l'installation de produits spéciaux pour la construction – a mis au point betoShell®, une façade en béton fine et légère renforcée d'armatures textiles à 2 ou 3 dimensions, en fibres de verre ou de carbone (produites par V. Fraas). Les produits de la gamme betoShell® ont une épaisseur de seulement 2 à 4 cm et plusieurs formats sont disponibles en fonction des applications visées. La technologie du betoShell® de Hering a été utilisée pour la façade extérieure du nouveau bâtiment de l'université technique de Dresde (Figure 34). Ici, 530 éléments de façade intégrant le renfort en fibre de verre SITgrid® de V. Fraas ont été utilisés pour couvrir une surface de 1 070 m<sup>2</sup>. Ces éléments de façade mesurent 1,30 x 2,00 mètres et ont une épaisseur de 3 cm. En comparaison, une façade en béton armé de résistance similaire aurait nécessité de présenter une épaisseur de 8 cm à cause des enrobages des armatures nécessaires pour éviter les risques de corrosion [5].

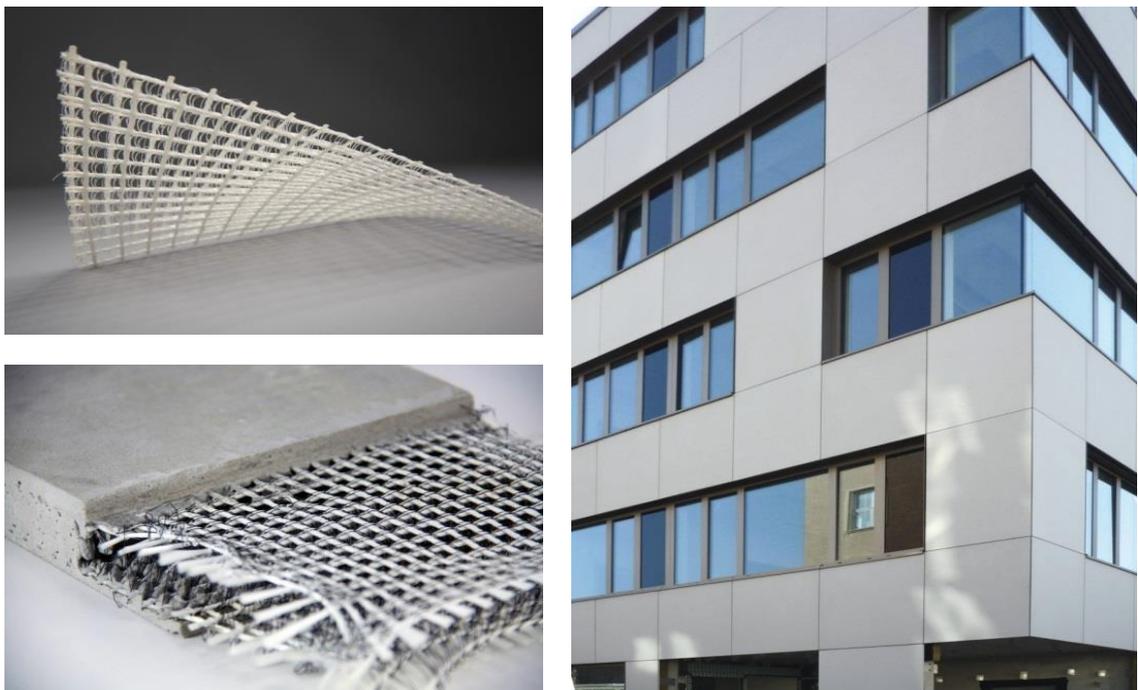


Figure 34 – Façade l'institut de génie civil de l'université technique de Dresde

#### 3.2 La façade de l'usine Alphabeton AG à Büron (Suisse)

Le renfort SIGRATEx® 3D, constitué de deux grilles de fibres de carbone espacées de 12 mm et reliée par un fil de trame résistant en compression, développé par SGL Group et produit dans une usine de V. Fraas, a été utilisé pour la fabrication de panneaux en béton renforcé de textile destinés à recouvrir la façade de la nouvelle usine de Alphabeton (2013). Approximativement 350 panneaux de 0,865 x 1,620 m et de 2,6 cm d'épaisseur ont permis de recouvrir les 450 m<sup>2</sup> de façade.



Figure 35 – Façade de l'usine Alhabeton AG à Büron

### 3.3 Passerelle piétonne à Albstadt (Allemagne)

Une passerelle pour piétons en béton textile a été inaugurée en mai 2010 dans la ville d'Albstadt en Allemagne. Conçue et réalisée par le groupe Groz-Beckert, la passerelle est constituée de 6 portions d'éléments préfabriqués en béton textile de 17 mètres, pour une longueur totale de passerelle de 100 mètres.

Le renfort utilisé est constitué de fibres de verre AR fixées sur une grille et imprégné de résine époxy. Pour la fabrication de la passerelle, 3 800 m<sup>2</sup> de grilles de renforts textiles ont été utilisés, ainsi que des câbles de précontraintes. Le béton employé est constitué de granulats fins (< 4 mm). L'emploi de renforts textiles a permis la réduction de l'épaisseur de béton jusque 1,5 cm.

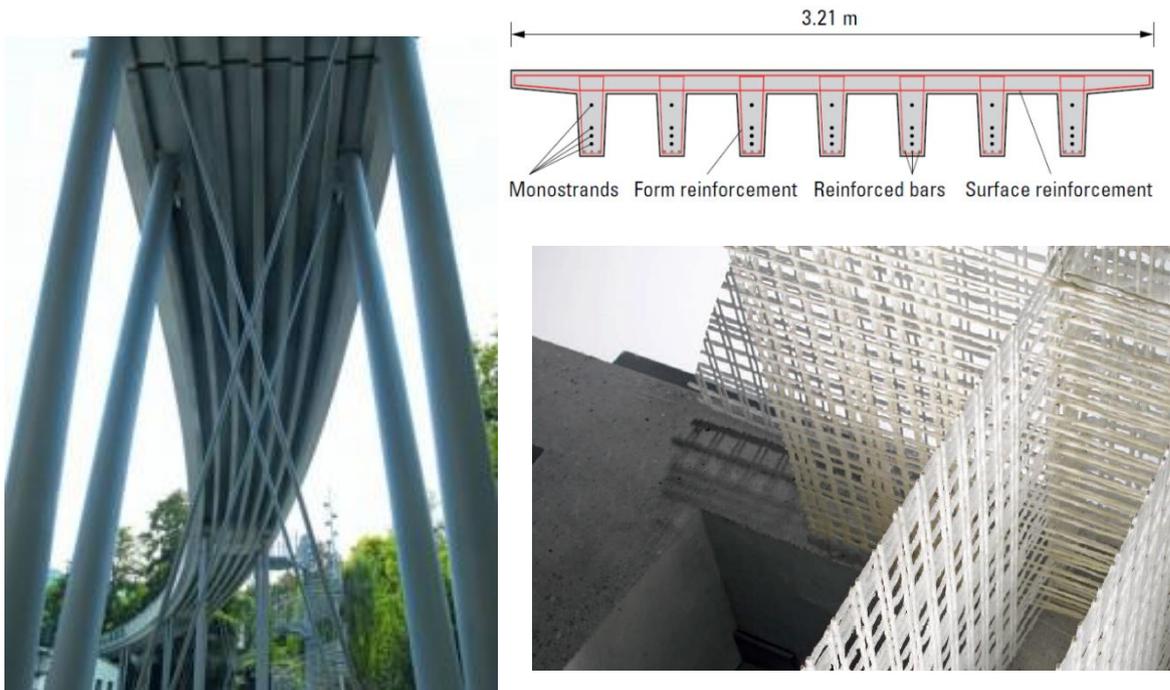


Figure 36 – Passerelle piétonne à Albstadt

### 3.4 Système d'élévation et d'assainissement des quais (Allemagne)

Hering Bau a mis en place un nouveau système innovant pour rehausser ultérieurement les quais conventionnels à niveau trop bas, et qui permet également de renover les surfaces de quais en mauvais état, et/ou à les rééquiper de systèmes de guidage destinés aux non-voyants ou de rayures indiquant les zones de danger. Les plaques en béton modula® flex sont fines (7 à 8 cm d'épaisseur) car elles sont renforcées d'armatures en fibres de verre ou de carbone. Cela permet de concevoir des plateformes aux surfaces entièrement préconçues qui peuvent par exemple être posées dans un lit de béton coulé sur la plateforme du quai déjà existante.



Figure 37 – Quai de gare en Allemagne

### 3.5 Façade du bâtiment Barkhausen (Université de Dresde)

La façade principale du bâtiment a été modernisée avec un béton imprimé représentant un motif floral. L'ensemble de l'enveloppe du bâtiment est conçu comme un mur-rideau ventilé à l'arrière, avec une enveloppe extérieure résistante aux intempéries composées de béton renforcé de textile à base de fibres de carbone ou de verre de 30 mm d'épaisseur. Le renforcement Solidian GRID Q95/95-CCE-38 a permis de réduire l'épaisseur du panneau et les joints de ce côté de la façade. L'autre côté de la façade est en béton armé de verre avec une surface lisse en gris béton homogène utilisée comme teinte de base de la façade principale.



Figure 38 – Façade de l'université de Dresde avec motif floral

### 3.6 Pont routier Albstadt-Pfeffingen

Un pont routier a été fabriqué en 2016 à l'aide de renforts textiles à base de fibres de carbone et d'armatures de carbone précontraint de la société Solidian



Figure 39 – Pont routier Albstadt-Pfeffingen

La figure ci-dessous présente la réduction des sections atteinte grâce à l'emploi des renforts de carbone.

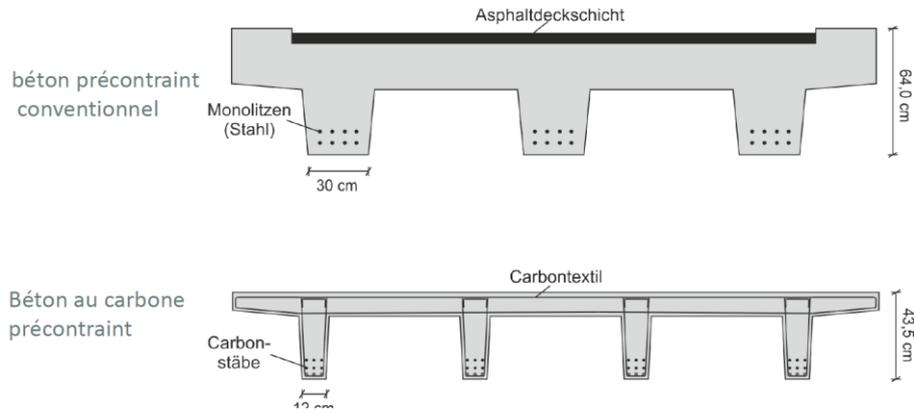


Figure 40 – Représentation en coupe du pont en béton précontraint traditionnel et en béton au carbone précontraint

### 3.7 Pont à Istanbul

En 2016, des renforts textiles à base de fibres de carbone (Q142/142-CCE-25) et de fibres de verre AR (Q97/97-AAE-38 et Q121/121-AAE-38) ont été utilisés pour la fabrication des panneaux de revêtement des piles d’un pont à Istanbul.



Figure 41 – Pont Bosphorus à Istanbul

### 3.8 Dallage de ponts piétonniers à Urbach et Weinstadt (Allemagne)

Trois ponts piétonniers ont été réalisés en béton renforcé par des fibres de carbone (dallages). Ce revêtement est résistant à la glissance et absorbe moins la pluie qu'un revêtement en bois. Il a également l'avantage d'être plus mince et plus léger qu'un dallage traditionnel en béton renforcé de fibres d'acier. Ce revêtement a été réalisé avec les renforts textiles en fibres de carbone imprégnées de résine époxy de Solidian (Q95/95-CEE-38).



Figure 42 – Pont piétonnier

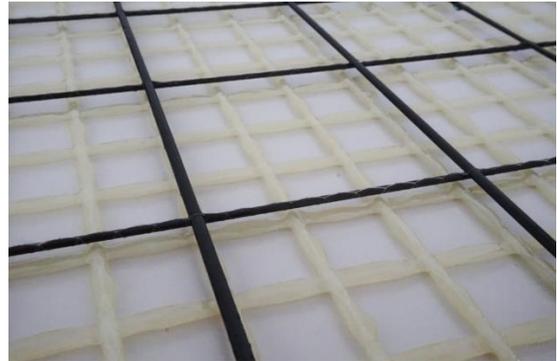


Figure 43 – Renforts de fibres de verre et de carbone

### 3.9 Garages préfabriqués

En 2017, la collaboration entre Solidian, Beton Kemmler et RWTH a permis la conception de garages préfabriqués en béton renforcé par des armatures en fibres de verre. Les éléments ont été réalisés en associant le renfort textile GRID Q121/121-AAE-38 et les barres d'armatures Solidian REBAR, tous deux en fibre de verre résistant aux alcalis. L'intérêt principal de la substitution des armatures en acier est la légèreté des éléments préfabriqués. Ce garage individuel (6 x 3 m<sup>2</sup>) ne pèse, en effet que 6,4 t (contre 11,5 t avec du béton armé traditionnel) sans le panneau de plancher. Cette réduction de poids permet un gain économique au niveau du transport.



Figure 44 – Garage préfabriqué

### 3.10. Pavillon modulaire à Fribourg

Un prototype de pavillon modulaire en béton textile a été érigé au Smart Living Lab par des étudiants de l'EPEFL. Les éléments renforcés en fibres de carbone ont une épaisseur de 9 mm.



Figure 45 – Prototype de pavillon modulaire

## 4. Évaluation technico-économique

### 4.1 Renforts textiles

Le tableau suivant présente des éléments comparatifs sur les performances et le prix de différents renforts textiles disponibles sur le marché. Les prix sont fournis à titre indicatif. Ils ont été communiqués par les fournisseurs en 2019 et 2020.

Matériau	Référence	Résistance à la traction Chaîne/trame	Module d'élasticité	Prix indicatif
Acier	Treillis 200 x 200 mm - Ø 6 mm	71 kN/m	200 GPa	2,64 €/m <sup>2</sup>
Verre E	G120 Saint-Gobain Adfors	30 kN/m	60 GPa	1,25 €/m <sup>2</sup>
Verre AR	SG45 Saint-Gobain Adfors	45 kN/m	60 GPa	6 €/m <sup>2</sup>
	SITgrid702KE V. Fraas	118 kN/m/122 kN/m	72 GPa	16 €/m <sup>2</sup>
	Q145/145-AAE-25 Solidian	217 kN/m	72 GPa	21 à 24 €/m <sup>2</sup>
Carbone	C-Grid C50 46 x 41 Chomarar	97 kN/m/109 kN/m	234 GPa	-
	SITgrid008KB V. Fraas	606 kN/m/109 kN/mm	250 GPa 240 GPa	21 €/m <sup>2</sup>
	Q142/142-CCE-38 Solidian	355 kN/m/397 kN/m	180 GPa	28 à 35 €/m <sup>2</sup>
Basalte	Geogrid 200 Basaltex	25 kN/m/45 kN/m	-	2,75 €/m <sup>2</sup>
	Geogrid 400 Basaltex	88 kN/m/82 kN/m	-	3,50 €/m <sup>2</sup>

Tableau 8 – Évaluation technico-économique des renforts textiles

### 4.2 Armatures de fibres

Le tableau suivant présente des éléments comparatifs sur les performances et le prix de barres d'armatures de 6 mm de diamètre (prix 2015 et 2020).

Matériau	Référence	Résistance à la traction	Module d'élasticité	Prix indicatif
Acier	Acier HA Ø 6	500 MPa	200 GPa	0,25 €/m
Verre AR	solidian REBAR Ø 6-RBE	1 300 à 1 500 MPa	55 à 65 GPa	0,95 à 2,13 €/m
Carbone	solidian REBAR Ø 6-CCE	2 800 MPa	160 GPa	1,55 à 6,30 €/m

Tableau 9 – Évaluation technico-économique des armatures de fibres

## Conclusion

---

Les renforts textiles et les armatures de fibres présentent un intérêt pour la substitution des armatures traditionnelles en acier dans l'Industrie du Béton pour l'amélioration de la durabilité et l'allègement des produits en béton. Ces renforts ne sont pas sensibles à la corrosion, notamment liée à la carbonatation du béton et sont également résistants en milieux chimiquement agressifs. Leur emploi peut permettre la réduction des enrobages et ainsi des économies de matières et un allègement des structures.

La question de la résistance au feu des éléments reste à approfondir en fonction des applications envisagées.

Le coût de ces renforts est aujourd'hui globalement plus élevé que celui des renforts traditionnels en acier mais une étude doit être réalisée au cas par cas afin de tenir compte du gain économique lié aux économies de matières, de transport ainsi qu'à l'augmentation de la durée de vie des produits et la réduction du besoin en entretien. Par ailleurs, le coût des renforts est susceptible de diminuer avec l'augmentation de la production.

Peu d'informations sont disponibles pour l'évaluation environnementale de ce type de renforts. L'évaluation devrait être réalisée au niveau global de l'ouvrage afin de tenir compte des gains de matière ainsi que des gains de durabilité.

## Bibliographie

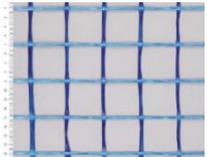
---

- [1] **Préfa Béton International**  
Armatures textiles hautement performantes pour les constructions en béton fines et légères  
*Janvier 2015*
  
- [2] **Report 36: Textile Reinforced Concrete**  
State-of-the-art Report of RILEM TC 201-TRC  
*2006*
  
- [3] **Thèse Raphaël Contamine**  
Contribution à l'étude du comportement mécanique de composites textile-mortier : application à la réparation et/ou renforcement de poutre en béton armé vis-à-vis de l'effort tranchant  
*2012*
  
- [4] **Bulletin Fib n° 40**  
FRP Reinforcement in RC Structures  
*Septembre 2007*
  
- [5] **Influence of short dispersed and short integral glass fibres on the mechanical behaviour of textile-reinforced concrete**  
Rabea Barhul – viktor Mechtcherine  
*Materials and Structures, vol.46, 2013*
  
- [6] **NF EN 1992-1-2**  
Eurocode 2 : Calcul des structures en béton. Partie 1-2 : Règles générales – Calcul du comportement au feu  
*Octobre 2005*
  
- [7] **ACI 440.1R-06**  
Guide for the design and construction of structural concrete reinforced with FRP bars  
*February 2006*

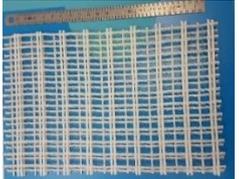
## Annexes

# Annexe 1 – Exemples de renforts textiles disponibles sur le marché (2019-2020)

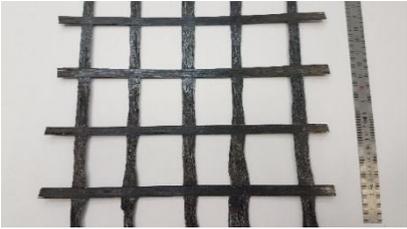
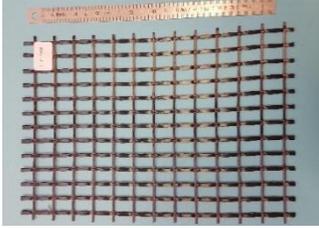
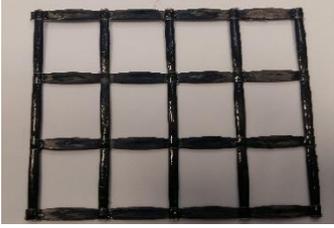
### Verre E

	Type de renfort	Résistance à la traction	Module d'élasticité	Prix	Photographies
G120 Saint-Gobain Adfors	Textile 2D	30 kN/m	60 GPa	1,25 €/m <sup>2</sup>	
G-Weave 75P Chomarat	Textile 2D	30 kN/m 22 kN/m	-	-	

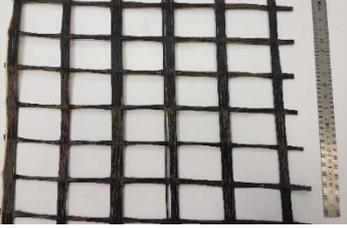
### Verre AR

	Type de renfort	Résistance à la traction	Module d'élasticité	Prix	Photographies
SG45 Saint-Gobain Adfors	Textile 2D	45 kN/m	60 GPa	6 €/m <sup>2</sup>	
SITgrid701KE V. Fraas	Textile 3D	67 kN/m 71 kN/m	72 GPa	13 €/m <sup>2</sup>	
SITgrid702KE V. Fraas	Textile 3D	118 kN/m 122 kN/m	72 GPa	16 €/m <sup>2</sup>	
GRID Q145/145- AAE-25 Solidian	Textile 2D 25x25 mm	217 kN/m 217 kN/m	72 GPa	21 à 24 €/m <sup>2</sup>	

**Carbone**

	Type de renfort	Résistance à la traction	Module d'élasticité	Prix	Photographies
C-Grid C50 46 x 41 Chomarat	Textile 2D	97 kN/m 109 kN/m	234 GPa		
SITgrid008KB V. Fraas	Textile 2D	606 kN/m 109 kN/mm <sup>2</sup>	250 GPa 240 GPa	21 €/m <sup>2</sup>	
GRID Q142/142- CCE-38 Solidian	Textile 2D 38x38 mm	355 kN/m 397 kN/m	180 GPa	28 à 35 €/m <sup>2</sup>	

**Basalte**

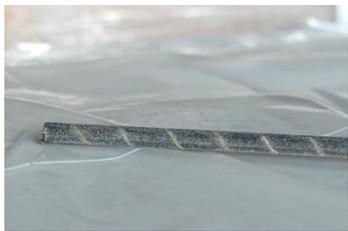
	Type de renfort	Résistance à la traction	Module d'élasticité	Prix	Photographies
Geogrid 200 Basaltex	Textile 2D	25 kN/m 45 kN/m	-	2,75 €/m <sup>2</sup>	
Geogrid 400 Basaltex	Textile 2D	88 kN/m 82 kN/m	-	3,50 €/m <sup>2</sup>	

## Annexe 2 – Exemples d’armatures de fibres disponibles sur le marché (2019-2020)

### Verre AR

	Type de renfort	Résistance à la traction	Module d'élasticité	Prix	Photographie
ASLAN 100 GFRP Fortius	Barres diamètre 16 mm	550 MPa	46 GPa		
solidian REBAR Ø 4 à 12-RBE	Barres diamètre 4 à 12 mm	1300 à 1500 MPa	55 à 65 GPa	0,95 à 2,13 €/m	

### Carbone

	Type de renfort	Résistance à la traction	Module d'élasticité	Prix	Photographie
Ruredil x Bar	Barres Diamètre 7,5 ou 10 mm	1 800 MPa	130 GPa		
solidian REBAR Ø 4 à 12-CCE	Barres diamètre 4 à 12 mm	2 800 MPa	160 GPa	1,55 à 6,30 €/m	

### Basalte

	Type de renfort	Résistance à la traction	Module d'élasticité		Photographie
Technobasalt	Barres	800 - 1 400 MPa			

# Index des figures

Figure 1 – Renfort 2D en fibre de carbone (Chomarat) .....	5
Figure 2 – Armatures en fibres de verre, basalte et carbone (Solidian) .....	5
Figure 3 – Renfort 2D en fibre de verre AR (Saint-Gobain Adfors) .....	5
Figure 4 – Renfort 3D en fibre de verre AR.....	5
Figure 5 : Effet de l'imprégnation des fibres sur la contrainte à la rupture [1].....	7
Figure 6 – Armatures en fibres de verre, basalte et carbone (Solidian) .....	8
Figure 7 – Profilé en U (Solidian).....	8
Figure 8 – Renfort préformé pour un siège (www.solidian.com) .....	8
Figure 9 – Barres d’armatures en fibre de basalte (Technobasalt) .....	9
Figure 10 – Barres d’armatures en fibres de verre et de carbone (Solidian) .....	9
Figure 11 – Diagrammes contraintes déformations de renforts textiles [4] Renforts en fibres – a : verre, b : aramide, c : carbone – avec résine époxy.....	9
Figure 12 – Loi contrainte/déformation en traction d’un béton textile [5].....	10
Figure 13 – Résistance à la traction des fibres de renforts textiles en fonction de la température [2] .....	11
Figure 14 – Résistance à la traction de l’acier de béton armé en fonction de la température [6].....	11
Figure 15 – Renfort 2D SITgrid200KE .....	18
Figure 16 - Renfort 3D SITgrid701KE.....	18
Figure 17 – Renfort 2D SITgrid017KB .....	18
Figure 18 – Armatures de fibres de basalte, fibres de verre et fibres de carbone .....	19
Figure 19 – Mise en œuvre de C-GRID®.....	20
Figure 20 – Renfort G120.....	20
Figure 21 – Renfort SRG 45 .....	20
Figure 22 – Exemples de produits SIGRATEx® .....	21
Figure 23 – Armatures de verre de la société ZCF .....	22
Figure 24 – Renforts textiles Dr. Günther Kast .....	22
Figure 25 – ASLAN 100 GFRP FIBERGLASS REBAR.....	23
Figure 26 – Treillis Fort-Mesh en fibres de verre.....	23
Figure 27 – Barres Technobasalt en basalte.....	24
Figure 28 – Barres en fibre de verre .....	24
Figure 29 – Treillis en fibre de verre .....	24
Figure 30 – Barres en fibre de carbone RUREDIL X BAR .....	25
Figure 31 – Treillis en fibres de verre AR - AR GAVAZZI .....	25
Figure 32 – MiniBars™ ReforceTech.....	26
Figure 33 – Barres en fibres de verre .....	26
Figure 34 – Façade l’institut de génie civil de l’université technique de Dresde.....	27
Figure 35 – Façade de l’usine Alphabéton AG à Büron .....	28
Figure 36 – Passerelle piétonne à Albstadt.....	29
Figure 37 – Quai de gare en Allemagne.....	29
Figure 38 – Façade de l’université de Dresde avec motif floral .....	30
Figure 39 – Pont routier Albstadt-Pfeffingen .....	30
Figure 40 – Représentation en coupe du pont en béton précontraint traditionnel et en béton au carbone précontraint.....	31
Figure 41 – Pont Bosphorus à Istanbul.....	31
Figure 42 – Pont piétonnier .....	32
Figure 43 – Renforts de fibres de verre et de carbone .....	32
Figure 44 – Garage préfabriqué .....	32
Figure 45 – Prototype de pavillon modulaire.....	33

## Index des tableaux

---

Tableau 1 – Coefficients de dilatation thermique de différents matériaux .....	12
Tableau 2 – Caractéristiques générales des principales fibres utilisées dans les renforts textiles et les armatures de fibres.....	17
Tableau 3 – Caractéristiques principales de 3 exemples de renforts proposés par la société V. FRAAS.....	17
Tableau 4 – Exemple de renfort au carbone de la société Solidian .....	18
Tableau 5 : Caractéristiques techniques du C-GRID® .....	19
Tableau 6 – Caractéristiques de deux produits proposés par Saint-Gobain Adfors.....	20
Tableau 7 : Caractéristiques techniques du Basalt Geogrid 200.....	21
Tableau 8 – Évaluation technico-économique des renforts textiles .....	34
Tableau 9 – Évaluation technico-économique des armatures de fibres.....	34

# RAPPORT DE VEILLE

---

DÉVELOPPEMENT  
DURABLE  
BÉTONS VERTS

---

SUZANNE LE THIERRY  
CARINE LACHAUD



/ Cerib - CS 10010  
28233 Épernon cedex

/ 02 37 18 48 00  
cerib@cerib.com

## INTÉRÊT DES RENFORTS TEXTILES POUR LES PRODUITS EN BÉTON – RAPPORT DE VEILLE

Les renforts textiles et les armatures de fibres sont des solutions alternatives aux aciers pour le renforcement des bétons. Composés de fibres très résistantes, telles que les fibres de verre ou de carbone enrobées d'une matrice polymère, ils ne sont pas sujets à la corrosion et permettent donc une réduction des enrobages pour des produits plus fins et plus légers et donc potentiellement plus économiques et écologiques.

Ce rapport présente les caractéristiques de ces renforts : forme, comportement mécanique, résistance au feu ainsi que la nature des fibres utilisées pour ces armatures. Il propose ensuite un état de l'art des produits disponibles sur le marché et quelques références non exhaustives. Des exemples d'application de ces renforts textiles dans le bâtiment ou les ouvrages d'art sont ensuite présentés permettant de découvrir l'étendue de leurs fonctionnalités.