

# FIBRA FLEX®

Résistance à la corrosion  
des fibres métalliques amorphes



## 1. Caractéristiques générales et descriptif du procédé de production des fibres métalliques amorphes

Les fibres métalliques amorphes ont été développées en 1985 par PONT-A-MOUSSON et sont industrialisées aujourd'hui par sa filiale SAINT-GOBAIN SEVA. Elles se présentent sous la forme d'un ruban étroit (1 à 1,6 mm de large), de longueur comprise entre 5 et 30 mm selon l'utilisation.

Ce ruban est obtenu par trempe d'un jet de métal liquide sur une roue en rotation à grande vitesse (**Figure 1**).

Cette technique permet d'obtenir des rubans extrêmement minces (24 à 29 microns) avec une vitesse de trempe élevée de l'ordre du million de degrés par seconde (**Figures 2 et 3**).



Figure 1.

Procédé d'obtention par hypertrempe des fibres métalliques amorphes

Fibre métallique amorphe (Nom commercial : FIBRAFLEX)	
Composition	: Fe <sub>75</sub> Cr <sub>5</sub> P <sub>8</sub> C <sub>10</sub> Si <sub>2</sub>
Largeur	: 1 ou 1,6 mm
Épaisseur	: 24 à 29 microns
Longueur	: 5 à 30 mm
Résistance	: ≈ 1800 MPa
Densité	: 7,2

Figure 2.

Caractéristiques des fibres métalliques amorphes



Figure 3.

Fibres métalliques amorphes pliées entre deux doigts

Ce refroidissement fige le métal liquide dans l'état amorphe (non cristallin), qui lui confère trois propriétés intéressantes :

- une résistance mécanique exceptionnelle : dans le cas des fibres métalliques amorphes, la résistance en traction est de l'ordre de 1 800 Mpa ;
- une souplesse dans le sens transversal : une fibre peut aisément se plier entre deux doigts ;
- une très grande résistance à la corrosion, point que nous allons développer.

## 2. Résistance intrinsèque à la corrosion des fibres métalliques amorphes

La résistance à la corrosion des matériaux métalliques est déterminée par la composition, la stabilité et l'uniformité de la couche passive qui se forme en surface de ces matériaux, ainsi que par la cinétique de formation de cette couche passive.

Dans le cas des matériaux amorphes, il a été montré que la couche passive se forme plus rapidement, et que, si l'alliage contient du chrome, celui-ci est présent en quantité importante à la surface du film, sous la forme d'oxyhydroxydes de chrome hydratés protecteurs.

Afin de valider ce point et de comparer avec d'autres matériaux, des essais d'intensité-potential (**Figures 4 et 5**) ont été réalisés dans deux milieux corrosifs: un bain d'eau salée (30 g/L) et un milieu basique (NaOH) au pH très élevé (pH 13).

Les matériaux testés étaient les suivants :

- une fonte ferritique,
- un acier inoxydable 18-8,
- un alliage amorphe contenant 5 % de chrome (cas des fibres métalliques amorphes),
- un alliage amorphe sans chrome,
- un alliage cristallin contenant 5 % de chrome.

Seul l'alliage amorphe contenant 5 % de chrome présente un comportement meilleur que l'acier inoxydable, confirmant ainsi que ce sont les influences combinées du chrome et de l'état amorphe qui permettent d'avoir un bon comportement à la corrosion.

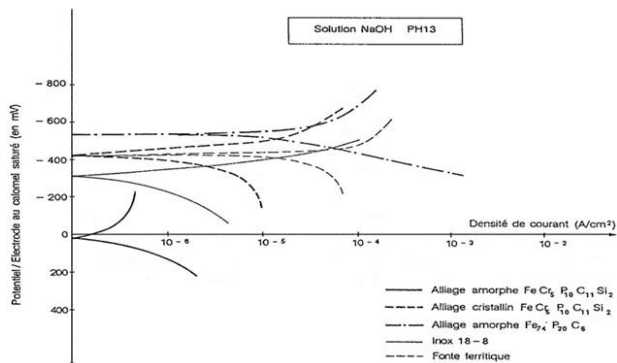


Figure 4.

Courbes intensité-potential de différents alliages dans un milieu basique NaOH pH 13

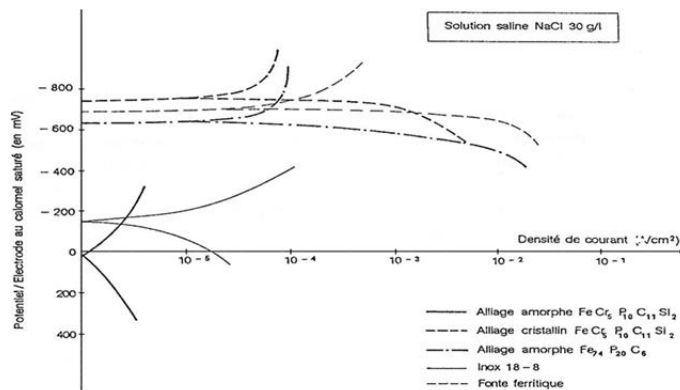


Figure 5.

Courbes intensité-potential de différents alliages dans un milieu salin NaCl 30 g/l

Voisin de ces essais, le comportement de la fibre métallique amorphe dans les matrices cimentaires a été testé (**Figure 6**) : la fibre a été plongée dans un lait de ciment (rapport eau/ciment = 80) à 80 % pendant plus d'un mois. Alors qu'une fibre de verre alcali-résistante voit sa résistance diminuer de moitié après seulement 5 jours, la résistance mécanique de la fibre métallique amorphe trempée est légèrement supérieure à celle de la fibre témoin.

Ce résultat confirme la passivation des fibres métalliques amorphes dans les milieux alcalins, se traduisant par un maintien, voire une augmentation des performances mécaniques.

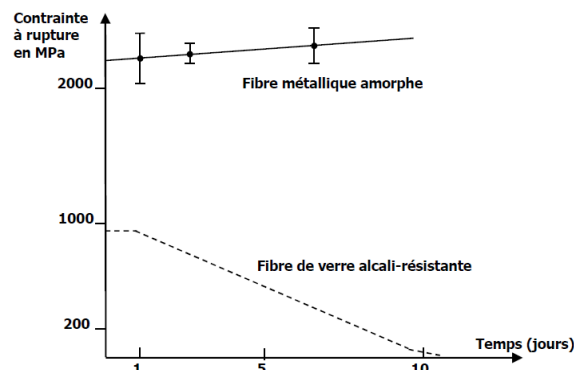


Figure 6.

Résistance mécanique de la fibre métallique amorphe et d'une fibre de verre alcali-résistante après immersion dans un lait de ciment à 80°C

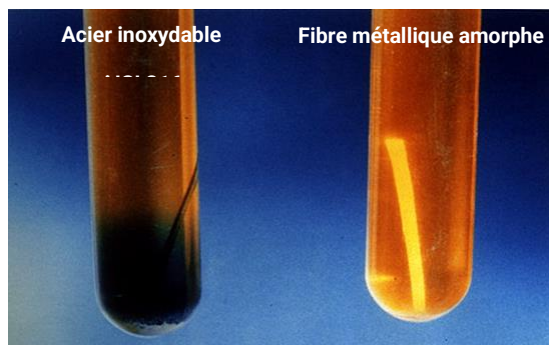


Figure 7.

Essais de corrosion en milieu  $\text{FeCl}_3$  6 % - Aspect des échantillons après 24 heures à 35°C

La résistance des fibres métalliques amorphes aux ions chlorures a également été testée, dans des solutions de HCl (0,1 N) et de  $\text{FeCl}_3$  (0,4 N), pendant 24 h à 35°C (norme ASTM G48-76-A) (**Figure 7**). La comparaison a été effectuée entre une fibre métallique amorphe et un fil en acier AISI 316 (Type Z6 CND 17-11 ou Z6 CND 17-12). A l'issue de l'essai, on observe que la solution contenant l'acier inoxydable prend une teinte verdâtre. Ce changement de coloration traduit une réaction chimique, en l'occurrence la transformation des ions ferriques  $\text{Fe}^{3+}$  en ions ferreux  $\text{Fe}^{2+}$ . L'observation du fil inox, à l'œil nu et au microscope, montre la présence d'une piqûration importante, et une pesée montre une perte en poids de 26 %. Dans le cas de la fibre métallique amorphe, on n'observe ni coloration du milieu, ni piqûration de la fibre, ni perte en poids.

De par leur composition chimique et leur procédé de fabrication spécial, **les fibres métalliques amorphes offrent une meilleure résistance à la corrosion que les aciers inoxydables.**

### 3. Résistance à la corrosion de matrices cimentaires fibrées

Pour étudier le vieillissement de matrices cimentaires en différentes ambiances, des plaques de mortiers renforcés de fibres métalliques amorphes ont été placées sous eau chaude à 50°C pendant 84 jours. Aucune altération de la résistance à la flexion du composite n'a été constatée : 17 Mpa à J-0, 18 Mpa à J-84.

Ensuite, des éprouvettes prismatiques (4 x 4 x 16 cm) composées d'une pâte pure de ciment ( $E/C = 0.3$ ) renforcée de 2,8 % en poids de fibres métalliques amorphes ont été immergées verticalement jusqu'à mi-hauteur dans une solution saline à 50°C (58 g/l de NaCl et 5 g/l de  $\text{MgSO}_4$ , soit le double de la concentration de l'eau de mer). L'essai a été poursuivi pendant 18 mois avec un contrôle régulier des propriétés mécaniques des éprouvettes (**Figure 8**).

Dans le cas des échantillons non fibrés, la résistance à la flexion augmente dans un premier temps grâce à l'action de l'eau chaude (traitement de cure). En revanche, après un an, la résistance se dégrade, alors que les échantillons renforcés de fibres métalliques amorphes voient leur résistance augmenter. Aucune trace de rouille n'est observée sur les fibres métalliques amorphes alors que sur des éprouvettes contenant des fibres d'acier, immergées dans les mêmes conditions, on observe des traces importantes de rouille.

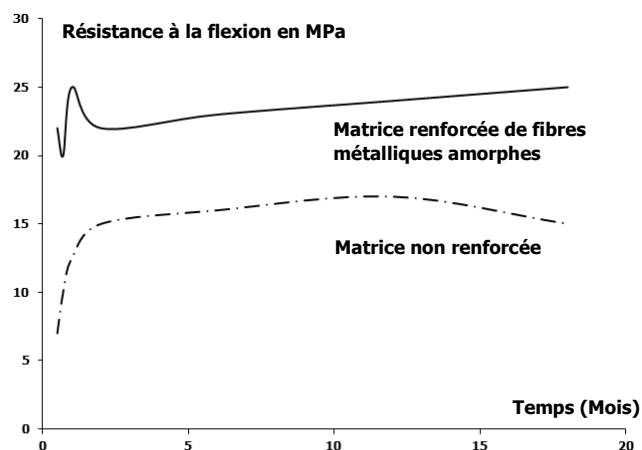


Figure 8.

Evolution de la résistance à la flexion d'une pâte de ciment plongée dans de l'eau de mer

Enfin, d'autres essais ont consisté à exposer des sections de bétons au goutte à goutte d'acide sulfurique pH 4 ou au brouillard salin artificiel à 35°C pendant 33 mois :



### Sections de béton exposées au brouillard salin à 35 °C



Béton contenant des fils d'acier  
Aspect après 3 mois



Béton renforcé de fibres FIBRAFLEX  
Aspect après 15 mois

Ces essais ont donc permis de démontrer que FIBRAFLEX assure une sécurité d'aspect : la fibre ne laisse pas de trace de rouille et permet de s'affranchir de la couche de finition généralement recommandée pour des produits sensibles à la corrosion.

Outre ces éléments, la durabilité accrue des bétons renforcés de fibres métalliques amorphes s'explique aussi par la spécificité du renfort mécanique opéré par cette typologie particulière de fibres au sein de la matrice béton : de par leurs caractéristiques particulières, les fibres métalliques amorphes « adhèrent » à la matrice. Le renfort mécanique opéré par ces fibres au sein de la matrice s'avère donc efficace dès les premiers efforts appliqués et limite au maximum l'apparition des premières ouvertures de fissures. Ceci limite d'autant plus la pénétration des agents agressifs au sein de la matrice béton et sa dégradation.

→ Agressions limitées → Pas de corrosion → Pas de dégradation → Caractéristiques mécaniques du béton et du renfort opéré par les fibres préservées.

#### 4. Conclusion sur l'utilisation des fibres

La résistance à la corrosion des fibres métalliques amorphes est donc tout à fait remarquable : leur passivation dans les milieux agressifs permet une grande durabilité du renforcement dans le temps.

Depuis leur invention, ces fibres ont ainsi naturellement trouvé des applications dans le renforcement des bétons et mortiers soumis à des agressions corrosives, comme :

- des bétons de préfabrication aux spécifications nucléaires. Les bétons renforcés de ce type de fibres sont garantis 300 ans par les autorités nucléaires françaises ;
- des mortiers de scellement sur voirie = soumis aux sels de déverglaçage. Outre la durabilité de renforcement, les fibres permettent de limiter les effets néfastes dus à la fatigue et aux cycles gel/dégel ;
- des mortiers de réparation soumis aux effluents dans les systèmes d'assainissement ;
- des bétons de parement où aucune trace de rouille ne peut être tolérée ;
- des bétons de préfabrication soumis aux atmosphères maritimes (récifs artificiels) ;
- ...

Les informations qui figurent sur le présent document constituent des valeurs moyennes et non des valeurs maximales ou minimales garanties. Les applications indiquées pour les nuances décrites ne le sont qu'à titre indicatif afin d'aider le lecteur dans son évaluation personnelle et ne sont pas des garanties, implicites ou explicites, d'adéquation à un besoin spécifique. La responsabilité de Saint-Gobain SEVA ne pourra en aucun cas être étendue au choix du produit ou aux conséquences de ce choix.



**Saint-Gobain SEVA**  
[43 rue du Pont de Fer - BP 10176](#)  
[71105 Chalon-sur-Saône cedex France](#)

+ 33 3 85 47 25 88  
[fibraflex@saint-gobain.com](mailto:fibraflex@saint-gobain.com)  
[www.fibraflex.fr](http://www.fibraflex.fr)