

3.4 Les bétons fibrés

3.4.1 - Généralités

Un béton fibré est un béton dans lequel sont incorporées des fibres. À la différence des armatures traditionnelles, les fibres sont réparties dans la masse du béton, elles permettent de constituer un matériau qui présente un comportement plus homogène.

Les fibres, selon leur nature ont un comportement contrainte-déformation très différent. Elles peuvent, sous certaines conditions et pour certaines applications ou procédés, remplacer les armatures traditionnelles passives. Les bétons fibrés font l'objet de méthodes spécifiques de dimensionnement pour des applications structurelles (dalles, dallages industriels, voussoirs, pieux, etc.). Des méthodes d'optimisation de leur formulation ont été spécialement développées.

Les fibres présentent des caractéristiques, tant géométriques que mécaniques, différentes selon leur nature. Chacune a une influence particulière sur les lois de comportement mécanique du béton, ce qui se traduit par des applications adaptées et spécifiques.



Exemples de fibres métalliques.

3.4.2 - Les différents types de fibres

On distingue trois grandes familles de fibres.

- Les fibres métalliques :
 - acier ;
 - inox ;
 - fonte (amorphe).
- Les fibres organiques :
 - polypropylène ;
 - polyamide ;
 - acrylique.
 - mélange polypropylène/polyéthylène ;
 - kevlar ;
 - aramide ;
 - carbone.
- Les fibres minérales :
 - verre ;
 - wollastonite ;
 - basalte ;
 - mica.

Chaque fibre présente des caractéristiques et des propriétés qui lui sont propres : dimensions (diamètre, longueur, etc.), formes (lisses, crantées, ondulées, biondulées, à crochet, munies de cônes aux extrémités, etc.), résistances mécaniques (résistance à la traction). Les dosages courants en fibres sont de l'ordre de 0,5 à 2 % en volume soit de 5 à 150 kg par m³ de béton.

3.4.3 - Les caractéristiques et les propriétés des fibres

Chaque famille de fibres présente des caractéristiques et des propriétés spécifiques.

Caractéristiques et propriétés spécifiques de chaque famille de fibres

	Masse volumique (en g/cm ³)	Diamètre moyen (en µm)	Résistance à la traction (en N/mm ²)	Module d'élasticité (en GPa)	Allongement à la rupture (en %)
Fibres métalliques	7,85	50 - 1 000	1 000 - 2 500	150 - 200	3 - 4
Fibres de verre	2,6	9 - 15	2 000 - 3 000	80	2 - 3,5
Fibres polypropylène	0,9	> 4	500 - 750	5 - 10	10 - 20

Longueur des fibres : 5 à 60 mm
Coefficient de dilatation : 1 à 90 µm/m °C

Pour faciliter leur utilisation, les fibres doivent :

- être faciles à incorporer dans le béton et ne pas perturber le malaxage (leur dispersion dans le béton doit être rapide) ;
- se répartir de manière homogène lors du malaxage au sein du béton (pas d'agglomération de fibres) et lors du bétonnage.

Nota

L'influence des fibres sur la maniabilité du béton dépend de leur dimension et de leur dosage.

Pour améliorer les performances mécaniques des bétons (ductilité, résistance en flexion, résistance aux chocs, etc.), elles doivent :

- être déformables sans être fragiles ;
- être relativement longues et fines et présenter une grande surface spécifique ;
- offrir une bonne capacité de déformation ;
- posséder un module d'élasticité plus élevé que celui de la matrice cimentaire ;
- présenter une bonne adhérence avec la pâte de ciment.

Nota

La structure du béton fibré et ses caractéristiques mécaniques in situ dépendent aussi de sa mise en œuvre (effets liés à l'écoulement ; orientation préférentielle des fibres parallèlement au sens de l'écoulement du béton et à la géométrie de la structure). Il est donc nécessaire pour la mise au point de la formulation, de connaître la technique de mise en œuvre.

3.4.4 - Le rôle des fibres

Les fibres ont généralement pour rôle de renforcer ou remplacer l'action des armatures traditionnelles en s'opposant à la propagation des microfissures.

Elles peuvent également dans certaines applications remplacer les armatures passives.

Selon les fibres utilisées (forme et nature) et les ouvrages auxquels elles sont incorporées, ce rôle se traduit par des améliorations relatives à :

- la cohésion du béton frais ;
- la déformabilité avant rupture ;
- la résistance à la traction par flexion ;
- la ductilité et la résistance post fissuration ;
- la résistance aux chocs ;
- la résistance à la fatigue ;
- la résistance à l'usure ;
- la résistance mécanique du béton aux jeunes âges ;
- la réduction des conséquences du retrait par effet de couture des microfissures ;
- la tenue au feu ;
- la résistance à l'abrasion.

3.4.5 - Les atouts des fibres

Grâce à leurs propriétés mécaniques, les fibres, permettent de mieux mobiliser la résistance intrinsèque du béton, de réaliser des pièces minces de grandes dimensions et d'offrir au concepteur une plus grande liberté architecturale. Elles confèrent aux bétons de nombreux atouts :

- la maîtrise de la fissuration ;
- une facilité et rapidité de mise en œuvre ;
- un renforcement multidirectionnel et homogène ;
- un remplacement partiel ou total des armatures passives.

Nota

Certaines fibres confèrent au béton un comportement ductile.

L'incorporation de fibres dans le béton doit faire l'objet d'une étude de formulation et d'une vérification de la compatibilité avec les autres constituants. Les bétons fibrés nécessitent souvent un dosage en superplastifiant plus élevé pour maintenir l'ouvrabilité du béton. Des essais peuvent être nécessaires pour déterminer, la nature, la taille et le dosage des fibres en fonction des caractéristiques et des performances requises.

3.4.6 - Les domaines d'application des bétons fibrés

Les bétons fibrés peuvent être utilisés pour une grande variété d'applications en bâtiment et en génie civil :

- béton coulé en place (dalles, planchers, fondations, voiles, pieux, etc.);
- béton préfabriqué (poutres, voussoirs, tuyaux d'assainissement, etc.);
- béton projeté (voie mouillée/voie sèche, construction et réparation de tunnels, confortement de parois, etc.);
- mortiers (prêts à l'emploi) de réparation et de scellement.

Le choix du type de fibres est fonction du domaine d'application et des performances souhaitées

3.4.7 - Les fibres polypropylène

Ces fibres obtenues par extrusion du polypropylène, se présentent en faisceaux ou sous forme de filament individuel. Lorsqu'elles sont utilisées sous forme de faisceaux, elles se séparent lors du malaxage. Elles se répartissent de façon multidirectionnelle dans le béton.

Les fibres polypropylène permettent en particulier de mieux contrôler le retrait plastique du béton frais mais n'améliorent pas son comportement post-fissuration (contrairement aux fibres métalliques).



Elles améliorent la maniabilité et la cohésion du béton (en particulier dans le cas de béton projeté). Elles sont particulièrement souples et insensibles chimiquement mais peu résistantes au feu (température de fusion comprise entre 140 à 170 °C).

La fabrication du béton avec des fibres de polypropylène ne soulève pas de difficulté particulière. La répartition des fibres est facile et ne nécessite pas de précautions spécifiques lors du malaxage. L'optimisation de l'adjuvantation permet de réaliser des bétons dont l'ouvrabilité est conservée. Le grand avantage des bétons de fibres de polypropylène est leur bonne résistance à la fissuration due au « premier retrait », ainsi que leur résistance aux chocs.

De ces propriétés découlent les applications privilégiées des bétons de fibres de polypropylène :

- dallages et aménagements urbains ;
- produits préfabriqués (parements) ;
- mortiers projetés ;
- enduits ;
- sculptures.

Les propriétés des fibres polypropylène sont intéressantes pour les pièces à démoulage immédiat (meilleur comportement du béton frais) et les

éléments préfabriqués (meilleure résistance mécanique au jeune âge). Elles améliorent l'aspect et la précision des angles, des tranches ou des arêtes des pièces moulées. Elles permettent de réaliser des parements esthétiques, avec des motifs très précis, et sont utilisées aussi pour la formulation des bétons projetés ou des mortiers de réparation.

■ **Atouts des fibres polypropylène pour la tenue au feu des bétons**

Le béton est un matériau poreux qui renferme de l'eau dont une partie correspond à de l'eau excédentaire nécessaire à l'ouvrabilité à l'état frais. En cas d'élévation importante de la température, l'eau, restée prisonnière, se transforme en vapeur. Dans le cas des bétons particulièrement compacts, l'élévation de la température est susceptible de créer des contraintes internes pouvant entraîner un écaillage du béton en surface.

L'incorporation dans le béton de fibres polypropylène (1 à 3 kg/m³) permet d'améliorer la tenue au feu des bétons dont la compacité est particulièrement élevée. Les observations montrent que les fibres fondent lorsque les températures atteignent 140 à 170 °C. Elles créent ainsi en fondant un réseau tridimensionnel constitué d'une multitude de petits capillaires connectés (réseaux de drains) susceptibles de permettre à la vapeur d'eau de s'échapper évitant ainsi les surpressions. Ce phénomène constitue un moyen efficace pour limiter l'écaillage de surface d'un béton soumis à une élévation de température excessive.

3.4.8 - Les fibres métalliques

Les fibres métalliques, notamment d'acier, ont fait l'objet de nombreuses recherches pour développer leurs emplois dans le béton. Elles présentent une très bonne compatibilité avec le béton.

Les recherches visant à améliorer l'adhérence au béton ont permis de développer une grande variété de fibres capables, par leur forme ou leur état de surface, de mieux s'ancrer dans le béton :

- fibres ondulées - crantées - torsadées-droites ;
- fils, rubans ;
- fibres à extrémités aplaties, à crochets, à têtes coniques, etc.

Les bétons de fibres métalliques ont une bonne résistance à la traction et à la flexion. Ils sont utilisés dans les dallages et les sols industriels (sur sol ou sur pieux), pour la fabrication de voussoirs de tunnels, de coques ou la confection de pieux ou pour réaliser des bétons projetés (pour la construction ou la réparation de revêtements de tunnels et de galeries et le confortement de parois de soutènement en béton), pour la réalisation de nombreux produits préfabriqués ainsi que pour la confection de mortier de réparation ou de scellement.

■ **Atouts des fibres métalliques dans les bétons structurels**

Les fibres métalliques sont utilisées pour améliorer le comportement mécanique d'un béton de structure. En effet, elles contribuent à la réduction de la largeur des fissures dans la matrice béton (limitation de l'ouverture des fissures et répartition de la microfissuration).

Elles se substituent partiellement aux armatures traditionnelles. Dans certains cas, pour des bétons subissant de faibles sollicitations, elles peuvent même remplacer complètement les armatures. Elles sont, en particulier, utilisées pour réduire les risques de fissuration, espacer les joints de retrait, améliorer la résistance en traction et au choc. Elles confèrent au béton une certaine ductilité et une plus grande résistance à la rupture.

■ **Spécificité du comportement des bétons fibrés avec des fibres métalliques**

Si l'on applique un effet de traction au béton fibré, il se comporte avant rupture selon trois phases :

- les fibres et le béton agissent ensemble dans une phase élastique ;
- des microfissures se produisent, l'effort de traction est repris par les fibres qui limitent la propagation de la fissuration ;
- les fissures se développent, les fibres perdent leur adhérence avec la matrice.

Toute fibre d'acier qui traverse une fissure crée en quelque sorte un « pont » entre les deux bords de la fissure. Ce pont va permettre le transfert d'une partie de la contrainte ayant entraîné l'ouverture de la fissure. C'est ainsi qu'une fibre s'oppose à l'élargissement de la fissure, jouant véritablement le rôle d'une couture et augmente la résistance du béton après fissuration.

Les fibres métalliques permettent donc de "coudre" les microfissures et évitent leur propagation, ce qui empêche ou retarde l'apparition de macrofissures. Elles apportent des caractéristiques mécaniques post-fissuration au béton.

Du fait de leurs propriétés, les fibres métalliques trouvent un vaste domaine d'applications, si l'on veut réduire les risques de fissuration, espacer les joints de retrait, augmenter la résistance aux chocs et tirer parti de l'amélioration de la résistance en traction pour optimiser le dimensionnement des pièces.

3.4.9 - Les fibres de verre

Les fibres de verre sont, grâce à leurs qualités mécaniques et leur rigidité, des renforts très efficaces, mais elles sont sensibles aux alcalis libérés par l'hydratation du ciment (protection ou imprégnation nécessaire).

Nota

Certaines fibres de verre présentent des propriétés « alcali-résistantes ».

■ **Atouts des fibres de verre comme armatures de parois minces**

En préfabrication, les domaines d'application sont très vastes. Les fibres de verre permettent la réalisation d'éléments de faible épaisseur (éléments architectoniques, éléments de bardage, panneaux de façade, etc.), de mobilier urbain et de produits d'assainissement.

- Panneaux de façade minces de 10 à 15 mm d'épaisseur ou panneaux sandwich à isolant incorporé.
- Éléments de bardage et éléments décoratifs.
- Éléments divers : coffret, coffrages, habillages.
- Produits d'assainissements : tuyaux, caniveaux.

Elles présentent une excellente résistance au feu (jusqu'à 800 °C). Cette caractéristique et son coefficient de dilatation du même ordre que celui de la pâte de ciment confèrent aux bétons de fibres de verre une bonne résistance à des températures élevées.

Sur chantier, les mortiers de fibres de verre s'utilisent pour les enduits extérieurs monocouches, ainsi que pour certains procédés d'isolation thermique.

Nota

Les bétons de fibres de verre sont couramment dénommés CCV (Composite Ciment Verre) ou, en anglais, GRC (Glass Reinforced Cement).

3.4.10 - Les techniques de mise en œuvre

Les bétons fibrés peuvent être mis en œuvre sous différentes formes.

- Béton coulé en place :
 - à la pompe ;
 - à l'aide d'une benne munie d'un manchon.
- Béton préfabriqué.
- Béton projeté.

Nota

L'incorporation des fibres dans le béton doit être particulièrement soignée, elle peut se faire :

- au malaxage (en centrale à béton) ;
- au moment du coulage (dans la toupie sur le chantier) ;
- lors de la projection (béton projeté).

L'emploi de superplastifiant est recommandé pour compenser la diminution d'ouvrabilité provoquée par l'incorporation de fibres.

Domaines d'application privilégiés par type de fibres

Type de fibres	Dosage courant	Domaine d'application privilégié	Exemples d'application
Fibres métalliques	0,5 à 2 % en volume 40 à 160 kg/m ³	Renfort pour bétons structurels et armature structurelle	<ul style="list-style-type: none"> – Dallages, sols industriels, planchers, dalles de compression – Éléments préfabriqués – voussoirs de tunnels, poutres, conteneurs, tuyaux – Bétons projetés en travaux souterrains, stabilisation de pente et ouvrages d'assainissement – Pieux de fondation, semelles filantes
Fibres polypropylène	0,5 à 2 % en volume 0,5 à 2 kg/m ³	Limitation de la fissuration liée au retrait Amélioration de la tenue au feu des bétons	<ul style="list-style-type: none"> – Dallage – Voussoirs de tunnels – Revêtement d'ouvrages souterrains – Mortiers projetés – Parements esthétiques
Fibres de verre	1 à 2 %	Réalisation d'éléments préfabriqués très minces	<ul style="list-style-type: none"> – Parements architectoniques – Panneaux de façade – Éléments décoratifs