

## 5.5 Les bétons spéciaux

### Quels bétons et pourquoi ?

Les domaines d'application du béton s'élargissent sans cesse et requièrent des matériaux plus performants et mieux adaptés.

La recherche et l'expérience acquise ont permis de déboucher sur une nouvelle génération de bétons permettant de construire plus durable, plus vite et pourtant plus économique.

Parmi ces bétons, il faut citer :

- **Les bétons fluides** qui ont bénéficié de l'apport d'une catégorie particulière d'adjuvants : les superplastifiants.

La plasticité de ces bétons apporte d'exceptionnels avantages en matière de manutention (béton pompé) et de mise en œuvre.

- **Les bétons de hautes et très hautes performances.** L'accroissement des performances élargit le champ d'application des ouvrages de travaux publics ou de bâtiment nécessitant haute résistance à court ou long terme, allègement des structures et durabilité.

- **Les bétons légers.** Le gain de poids est apprécié dans tous les domaines où le poids propre des éléments joue un rôle important, notamment pour la réhabilitation des bâtiments anciens.

Ils constituent aussi un apport d'isolation thermique.

- **Les bétons de fibres.** Leur résistance à la traction, à la fissuration et au choc, la possibilité de réaliser des éléments de faible épaisseur leur ouvrent de vastes débouchés, dans la préfabrication aussi bien que sur chantier.

- **Les bétons à prise et durcissement rapides.**

- **Les bétons réfractaires.**

### Les bétons fluides

#### ■ Principe

Les progrès dans la fluidification du béton ont été rendus possibles par l'évolution des plastifiants réducteurs d'eau : les molécules anioniques à chaîne longue, de mélamine ou de naphthalène ont remplacé les lignosulfonates au pouvoir de recouvrement des grains de ciment limité et ont donné naissance à une nouvelle famille de plastifiants : les superplastifiants (parfois appelés fluidifiants) dont les caractéristiques sont détaillées dans le chapitre 3.2.

La plasticité du béton avec superplastifiant se trouve considérablement améliorée : le gain d'affaissement est d'au moins 8 à 10 cm. Le dosage en superplastifiant varie entre 0,5 et 3 % du poids de ciment ; il est fonction du béton et du couple ciment-adjuvant.

Le viaduc de Sylans.

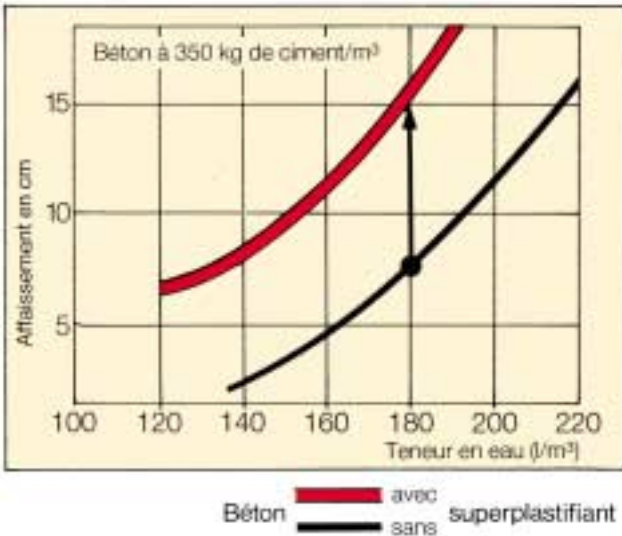


## ■ Propriétés

Le béton frais présente une remarquable ouvrabilité facilitant son pompage et sa mise en œuvre. Les effets de la fluidification sont limités dans le temps (30 à 60 mn), le béton retrouvant ensuite progressivement sa consistance initiale. Malgré sa plasticité, on ne constate ni ségrégation, ni ressuage, la cohésion étant maintenue.

Les caractéristiques du béton durci, notamment sa résistance mécanique, ne sont pratiquement pas modifiées par rapport au même béton non adjuvanté.

Le béton fluide durci présente un très bon aspect de surface, homogène, exempt de défauts (bullage, nids de gravillons, faïençage).

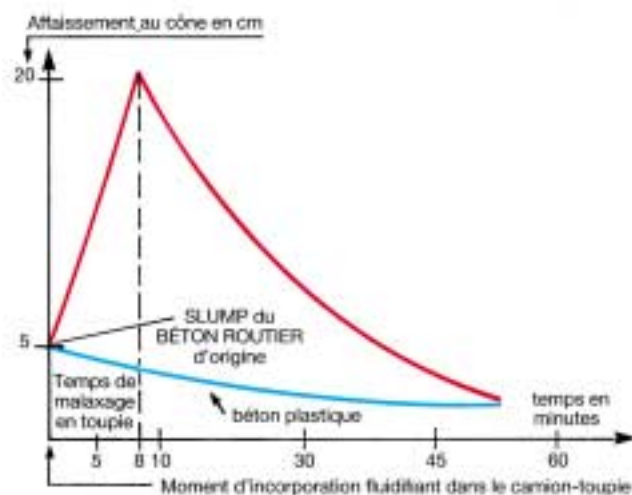


Influence d'un superplastifiant sur l'ouvrabilité du béton.

Ses propriétés entraînent d'autres avantages :

- rapidité de mise en œuvre et de serrage ;
- facilité de bétonnage des éléments fortement ferrailés ;
- la vibration peut être réduite, voire dans certains cas supprimée pour les dallages peu armés ;
- auto-étalement : il suffit d'un talochage ou d'un réglage léger pour niveler la surface du béton.

Il faut, par contre, veiller à la stabilité et à la bonne étanchéité des coffrages, plus sollicités par la poussée provoquée par ces bétons, qui se comportent comme un fluide de masse volumique élevée.



Béton HP (60 MPa) choisi aussi pour sa rapidité de prise : le pont de l'Île-de-Ré.



Béton fluide en travaux routiers ou dallages.

## ■ Applications

Le béton fluide trouve ses applications lorsqu'intervient l'une des conditions suivantes :

- manutention par pompage ;
- ouvrages en béton de forme complexe ou fortement ferrailés, ouvrages minces ;
- ouvrages horizontaux (dallages, voiries et planchers).

Parmi les applications usuelles, on peut citer :

- les sols industriels ;
- les travaux routiers ;
- les fondations, les radiers généraux ;
- les poutres présentant une grande densité d'armatures ;
- les voiles minces, les poteaux fortement armés.

## Les bétons de hautes et très hautes performances

Les bétons de hautes performances font l'objet d'un chapitre spécial : 5.6.

## Les bétons légers

Les bétons usuels ont une masse volumique de 2 300 à 2 400 kg/m<sup>3</sup>, qu'il est économiquement et techniquement intéressant de pouvoir réduire, tout en obtenant pour les bétons ainsi allégés des caractéristiques correspondant aux exigences des domaines d'emploi.

Cette réflexion a incité les chercheurs, depuis plusieurs années, à analyser les diverses voies d'allègement envisageables pour le béton.

Il existe deux filières dans cette recherche :

- remplacer les granulats habituels, qui constituent environ les 3/4 de la masse du béton, par des granulats plus légers, naturels ou artificiels (voir le chapitre 3.1) ;
- créer dans un mélange de sable et de ciment une grande quantité de cellules d'air grâce à une réaction provoquant un dégagement gazeux (bétons cellulaires) ou grâce à un agent moussant (bétons mousse).

La première voie est largement utilisée aux États-Unis ou en URSS, chacun de ces pays produisant annuellement plus de 25 millions de m<sup>3</sup> de bétons d'argile ou de schiste expansés.

Les développements en France restent plus limités.

La seconde filière est exploitée assez largement en usine pour les bétons cellulaires qui, après autoclavage destiné à favoriser la réaction chaux/silice, fournissent une gamme variée d'éléments manufacturés : blocs, cloisons, dalles de planchers, bardages industriels.

Les bétons mousse sont moins répandus, car ils restaient jusqu'ici tributaires de variations dimensionnelles liées à leur teneur en eau, à l'origine de certaines difficultés (fissuration, tenue des enduits).

Il semble que certains procédés de moussage récents, appliqués en usine ou sur chantier, aient, en grande partie, résolu ce type de difficultés.

### ■ Propriétés

- L'allègement des bétons est, bien entendu, leur propriété essentielle, mais il en découle un certain nombre d'autres.

Le gain de poids, qui peut être plus ou moins important selon le type de béton, entraîne une diminution des sections des éléments structurels assurant la transmission des charges. La diminution de poids conduit à des économies de transport des éléments manufacturés et à des gains de productivité à la mise en œuvre.



Bloc coffrant en béton-bois avec isolant incorporé.



Béton de polystyrène en chape isolante.

- La corrélation entre la masse et le coefficient de conductivité se traduit par des performances en matière d'isolation thermique, d'autant plus sensibles que la densité diminue.

Matériau	Conductivité thermique W/m <sup>2</sup> C
<b>Béton de granulats courants</b>	
– Béton plein (2 200 à 2 400 kg/m <sup>3</sup> ) .....	1,75
– Béton caverneux (1 700 à 2 100 kg/m <sup>3</sup> ) ...	1,40
<b>Béton de granulats légers (argile expansée)</b>	
– Béton plein avec sable (1 400 à 1 600 kg/m <sup>3</sup> ) .....	0,85
– Béton sans sable, avec fines (1 000 à 1 200 kg/m <sup>3</sup> ) .....	0,46
<b>Béton cellulaire</b>	
– 525 à 575 kg/m <sup>3</sup> .....	0,20
– 425 à 475 kg/m <sup>3</sup> .....	0,17
– 375 à 425 kg/m <sup>3</sup> .....	0,16

- Grâce à leur conductivité et à leur coefficient de dilatation plus faibles, les bétons légers présentent une résistance au feu meilleure que celles des bétons courants, à condition que les granulats soient d'origine minérale. A épaisseur égale, l'amélioration du degré coupe-feu est de 1/2 heure à 1 heure.

- Du fait d'un module plus bas qui leur confère une certaine élasticité, les bétons de liège, de bois ou de polystyrène peuvent être utilisés en sous-couche de dalle flottante : ils créent une coupure efficace à la transmission des bruits de choc.

- La structure cellulaire des bétons légers leur assure une bonne imperméabilité à l'eau, tout en favorisant les échanges de vapeur ; ce sont des matériaux résistants au gel.





Dalles de murs en béton cellulaire, pour bâtiments industriels.

### ■ Caractéristiques mécaniques

La variété des bétons légers donne lieu à un éventail de densités et de résistances très ouvert.

Les masses volumiques s'échelonnent de 250 kg/m<sup>3</sup> pour les bétons de polystyrène à faible dosage en ciment, jusqu'à 1 800 kg/m<sup>3</sup> pour certains bétons d'argile expansée.

Corrélativement, on constate une évolution des résistances à la compression de 1 jusqu'à 30, voire 40 MPa.

La résistance à la traction, 9 à 10 fois plus faible que celle à la compression pour un béton classique, peut atteindre un pourcentage plus élevé pour les bétons légers : de l'ordre de 20 % de  $R_c$  et même 35 à 40 % pour les bétons de bois, dont les granulats jouent le rôle de fibres qui « arment » le béton.

Le module d'élasticité, qui caractérise la loi de comportement déformation-charge du matériau, est plus faible que celui des bétons plus lourds, ce qui conduit à des flèches plus fortes des pièces fléchies. Cette déformabilité supérieure a pour contrepartie une résistance améliorée aux chocs et aux vibrations.

### ■ Applications

Les bétons légers sont soit manufacturés, soit fabriqués et coulés sur le chantier.

Dans les éléments manufacturés entrent les petits éléments : blocs, hourdis, éléments creux pour les conduits de ventilation ou de fumée – ou les éléments de plus grandes dimensions : cloisons, dalles pour bardages, éléments de planchers.

Le béton coulé sur chantier trouve de nombreuses applications dans le bâtiment, mais aussi comme matériau de remplissage ou en sous-couche dans les sols et les chaussées :

- bâtiment : sous-couches de dalles et planchers, formes de pente ; réhabilitation de planchers anciens, dalles d'isolation sur terre-plein, chapes ; bâtiments agricoles ;
- applications routières et en sols : sous-couches de chaussées et sols d'aires de jeux ;
- remplissages divers (fouilles, cavités).

### Les bétons lourds

A l'inverse des bétons légers, l'emploi de granulats très denses (barytine, hématite) permet la réalisation de bétons de masse volumique dépassant 3 000 kg/m<sup>3</sup>. Ces bétons sont utilisés dans la protection contre les radiations ou pour réaliser des culées, des contrepoids, etc.

## Les bétons de fibres

L'idée d'incorporer des fibres dans le béton pour améliorer ses caractéristiques est déjà ancienne et constitue la transposition des renforcements utilisés depuis fort longtemps dans des matériaux comme la terre, l'argile ou le plâtre.

### ■ Les types de fibres pour bétons et mortiers

Pendant longtemps, la seule fibre utilisée avec le mortier a été la fibre d'amiante. Le procédé, breveté en 1901 par Hatschek sous le nom d'« amiante ciment », a connu de nombreuses applications sous forme de plaques, de tuyaux ou de conduits. Parmi les fibres qui sont apparues plus récemment (vers 1965), les plus courantes sont celles de verre, d'acier, de polypropylène ou de carbone, dont les caractéristiques font l'objet du chapitre 3.3.

L'objectif recherché est de procurer au béton un meilleur comportement à la traction et à la déformation, permettant ainsi de réaliser des éléments de faible épaisseur, plus ductiles et présentant une bonne résistance à l'usure ou aux chocs.

Les fibres, à la différence des armatures classiques, sont réparties dans la masse du béton et donnent donc naissance à un matériau qui, considéré à l'échelle macroscopique, présente un comportement homogène.



Bétons de fibres pour des formes exceptionnelles ou pour des panneaux décoratifs.





Panneaux légers et colorés en béton de fibres.

## ■ Propriétés

Les propriétés peuvent varier selon la nature des fibres utilisées ; néanmoins, on peut dégager certaines tendances qui sont communes à l'ensemble des bétons de fibres.

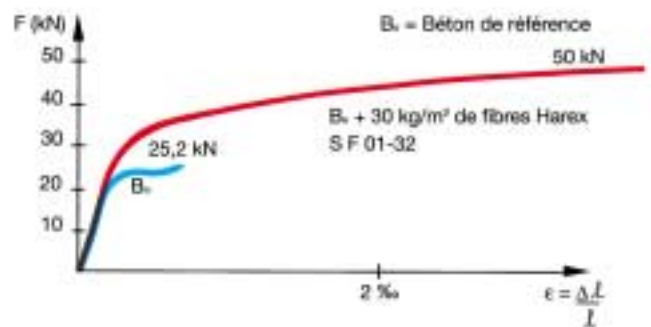
- Le matériau béton, sans fibres, présente une loi de comportement en traction (déformation en fonction de l'effort appliqué) à caractère fragile. Cette loi se modifie lorsqu'on incorpore des fibres au béton. Le matériau, au lieu de se rompre brutalement, s'allonge tout en se microfissurant, les fibres ayant pour rôle de différer la rupture en s'opposant à la propagation des fissures (effet de « couture »). L'amélioration apparente de résistance à la traction ne se retrouve pas au niveau de la compression, qui n'est pratiquement pas modifiée.
- Les fibres s'opposent à la fissuration du béton, du moins aux fissures larges qui sont remplacées par des microfissures moins préjudiciables à la durabilité et à l'esthétique.
- Parmi les autres propriétés qui concernent l'amélioration des résistances mécaniques des bétons, on peut citer :
  - la résistance aux jeunes âges ;
  - la résistance aux chocs ;
  - la résistance au cisaillement ;
  - la résistance à l'usure et à l'abrasion.
- Certains fibres, comme les fibres synthétiques, peuvent apporter aux bétons des améliorations en matière de plasticité et de moulage.

- Les aspects de surface obtenus avec les bétons de fibres synthétiques et les fibres de verre, sont appréciables pour les bétons apparents et les bétons architectoniques.

## ■ Caractéristiques

- La résistance en traction est améliorée de quelques pourcents à plus de 100 % selon la nature et le dosage des fibres. Cette amélioration dépend de l'adhérence de la fibre à la pâte et de l'orientation des fibres dans le sens des contraintes. C'est la forme de la fibre et son état de surface qui sont responsables de la qualité de l'adhérence. Le dosage, la dispersion des fibres, aléatoire ou orientée dans une direction préférentielle, fixent l'aptitude du béton à résister à des efforts bien déterminés.
- La modification de déformabilité du béton avant rupture, qui en fait un matériau ductile, permet d'atteindre une déformation de l'ordre de 1 % pour des bétons de fibres, alors qu'elle ne dépasse guère 1 % pour des bétons sans fibres.

Déformations comparées : béton avec fibres d'acier, béton de référence.



## ■ Applications

Les domaines d'emploi des fibres sont multiples. Le choix d'une fibre dépend de la nature de l'ouvrage à réaliser, des possibilités de mise en œuvre, des sollicitations physico-chimiques auxquelles est soumis l'élément, mais aussi des conditions économiques. C'est la raison pour laquelle certaines fibres, ayant des applications potentielles comparables, se développent plus que d'autres en fonction de l'optimisation des différentes exigences.

En fonction des principaux avantages liés à l'emploi des fibres de verre, d'acier et de polypropylène, on peut résumer sous forme de tableau les domaines d'emploi de ces fibres, actuellement les plus usuelles.

DOMAINES D'EMPLOI PRINCIPAUX DES BÉTONS DE FIBRES

Nature de la fibre	Avantages essentiels apportés aux bétons	Applications principales
Verre	Résistance à la traction. Allègement grâce à la diminution d'épaisseur. Mise en œuvre par moulage ou par projection.	Panneaux divers : sandwichs, habillages, décoratifs. Bardages industriels. Assainissement. Mobilier urbain. Éléments divers : habillages, coffrets. Mortiers d'enduits ou de réparation.
Acier	Résistance à la traction et à la flexion. Résistance aux chocs, à l'usure. Antifissures. Espacement des joints.	Dallages parkings, sols industriels, chaussées. Éléments préfabriqués : tuyaux, caniveaux, abris, garages. Bétons projetés en galeries, tunnels, talus. Silos, réservoirs, déversoirs de barrages. Constructions anti-explosives.
Polypropylène et fibres synthétiques	Limitation du retrait. Maniabilité du béton. Résistance aux chocs. Aspect de surface.	Sols industriels, dallages. Panneaux préfabriqués décoratifs. Coques minces, caissons. Mortiers projetés, de réparation, mortiers d'enduits. Tuyaux sculptures.

## Autres bétons spéciaux

Dans de nombreux cas, il est intéressant d'utiliser des bétons à prise et durcissement rapides, qui permettent la réalisation de petits ouvrages de réparation ou des travaux sur des éléments d'ouvrages demandant une remise en service rapide.

### ■ Les bétons de ciment prompt naturel

Dans les cas où sont recherchés prise et durcissement particulièrement rapides, par exemple les gros scellements courants, on a besoin de bétons dont le temps de prise est sensiblement plus court que celui des bétons à base de ciments artificiels CEM I ou CEM II. On peut utiliser des bétons à base de ciment prompt, retardés juste le temps nécessaire au gâchage et à l'application de la quantité appropriée. Le retardateur est généralement l'acide citrique, produit non dangereux couramment utilisé dans l'industrie alimentaire ; les temps de prise sont réglables, de 10 minutes à 1 heure selon le dosage d'acide citrique. Les résistances obtenues à très court terme (exemple : 9 MPa en compression à 1 heure pour une proportion d'acide citrique de 0,2 % du poids de ciment, à 20 °C) permettent les travaux urgents :

- scellements de mobilier urbain, panneaux publicitaires ;
- travaux à la mer : scellements, travaux entre deux marées, enrochement de digues (le prompt est agréé pour les travaux à la mer) ;
- revêtements de tunnels, stabilisation de talus et de berges (par la technique de la projection par voie sèche) ;
- travaux en milieu agro-alimentaire.

### ■ Le béton de ciment alumineux fondu

Dans le cas où est recherchée une résistance précoce, on utilise un béton à base de ciment alumineux fondu qui permet d'obtenir des résistances de l'ordre de 30 MPa au bout de 6 heures, autorisant ainsi la remise en service rapide de l'ouvrage.



*Dans une laiterie : aire de dépotage et de nettoyage des citernes, réalisée en béton de ciment alumineux fondu.*

Les bétons de ciment alumineux fondu sont également utilisés dans le cas d'ouvrages sollicités par la corrosion ou l'abrasion et pour les bétonnages par temps froid.

Les applications de ces bétons sont fréquentes en génie civil et pour les ouvrages routiers.

### ■ Le béton réfractaire

Lorsqu'un béton doit résister à des températures élevées pouvant atteindre 1 300 °C, on a recours au mélange ciment alumineux/granulats réfractaires (chamottes, corindon), ou granulats isolants (pouzzolane, vermiculite, argile expansée).