

Guide de bonnes pratiques pour l'utilisation des fibres dans le béton



Réalisé par l'Association béton Québec
en collaboration avec les manufacturiers
de fibres métalliques et de fibres synthétiques

Guide de bonnes pratiques pour l'utilisation des fibres dans le béton



Réalisé par l'Association béton Québec
en collaboration avec les manufacturiers
de fibres métalliques et de fibres synthétiques

L'Association béton Québec et les manufacturiers de fibres émettent ce document à titre consultatif seulement. Ce guide technique ne saurait remplacer l'opinion d'un expert et ne saurait lier l'Association béton Québec ni ses mandataires et représentants. Il est suggéré de vérifier si l'information contenue dans ce guide est applicable et pertinente au projet en cours.

L'Association béton Québec et ses mandataires se déchargent de toute responsabilité pour toute erreur, inexactitude ou omission reliées à l'information contenue dans ce guide.

© 2005 Association béton Québec

Tous droits réservés. Aucune partie de ce guide ne peut être reproduite sous quelque forme que ce soit, sans la permission de l'éditeur, sauf pour la citation de brefs passages à des fins professionnelles, éducatives ou journalistiques.

Dépôt légal
Bibliothèque nationale du Québec
ISBN 2-923379-00-4

	<u>PAGE</u>
INTRODUCTION	5
CHAPITRE 1- NORMES ET RÉFÉRENCES.....	7
1-1 Normes	7
1-2 Index du vocabulaire technique.....	7
1-3 Références techniques	7
1-4 Sites Internet de référence	8
1-5 Références des manufacturiers de fibres.....	8
CHAPITRE 2 - UTILISATION DES FIBRES DANS LE BÉTON	9
2-1 Améliorations des caractéristiques mécaniques	9
2-2 Contrôle de la fissuration de retrait	9
2-3 Avantages du béton fibré.....	10
2-4 Applications	10
CHAPITRE 3 - PROCÉDURES POUR LA COMMANDE DE BÉTON FIBRÉ.....	11
3-1 Responsabilités des intervenants pour une commande de béton selon une alternative de performance ou de prescription.....	11
3-2 Procédures générales pour la commande de béton	11
3-3 Procédures pour une commande de béton selon une alternative de performance	12
3-4 Procédures pour une commande de béton selon une alternative de prescription	12
3-5 Spécifications pour la commande des fibres.....	12
3-6 Quantité de fibres à incorporer dans le béton.....	12
3-7 Conformité des matériaux utilisés dans la production de béton fibré	13
CHAPITRE 4 - TYPES DE FIBRES ET PROPRIÉTÉS.....	15
4-1 Fibres synthétiques	15
4-2 Fibres métalliques	16
4-3 Propriétés des fibres	18
4-3-1 La notion de fibres structurales.....	18
4-3-2 Le facteur d'élancement.....	18
4-3-3 La performance	19
4-3-4 La valeur de résistance résiduelle	19
4-3-5 La distribution des contraintes mécaniques.....	19
4-3-6 La résistance à l'abrasion	20
4-3-7 Les propriétés spécifiques à chaque type de fibres	20
CHAPITRE 5 - RHÉOLOGIE DU BÉTON	21
5-1 Introduction des fibres dans le béton	21
5-2 Séquence d'introduction des fibres	21
5-3 Proportion des constituants.....	21
5-4 Rapport E/L et résistance à la compression	22
5-5 Quantité de fibres à incorporer au béton	22
5-6 Affaissement du béton et adjuvants	24

	PAGE
CHAPITRE 6 - FINITION DU BÉTON FIBRÉ	25
6-1 Pompage du béton	25
6-2 Finition de surface	26
6-3 Béton armé.....	27
6-4 Traits de scie.....	27
CHAPITRE 7 - QUALITÉ ET PERFORMANCE	29
7-1 Essais de contrôle de qualité	29
7-2 Maniabilité	29
7-3 Dispersion et homogénéisation	30
7-4 Responsabilités des intervenants face à la performance.....	30
7-5 Résistance à la corrosion	30
CHAPITRE 8 - UTILISATIONS SPÉCIALES	31
8-1 Dalles sans joints de contrôle	31
8-2 Béton projeté	31
8-3 Béton à infiltration de coulis (SIFCON)	31
8-4 Dalles sur pieux.....	32
8-5 Coffrage isolant	32
TABLEAUX	
Tableau 3-1 Commande de béton selon une alternative de performance ou de prescription.....	14
Tableau 4-1 Propriétés des fibres synthétiques	17
Tableau 4-2 Facteur d'élancement.....	18
FIGURES	
Figure 2-1 Texture d'un béton fibré.....	9
Figure 4-1 Microfibres synthétiques.....	15
Figure 4-2 Macrofibres synthétiques	16
Figure 4-3 Géométrie des fibres métalliques	16
Figure 4-4 Fibres métalliques	18
Figure 4-5 Essais de l'ASTM C 1018	19
Figure 6-1 Pompage du béton	25
Figure 6-2 Espace libre à la sortie	25
Figure 6-3 Finition du béton fibré.....	26
Figure 6-4 Traits de scie pour une dalle sur sol	27
Figure 8-1 Dalles sans joints de contrôle	31
ANNEXE I INDEX DU VOCABULAIRE TECHNIQUE	33

L'objectif principal de ce document est d'indiquer et de clarifier les bonnes pratiques actuelles recommandées lors de l'utilisation de fibres dans un béton de masse volumique normale. Ce guide traite de l'ensemble des pratiques reconnues par l'industrie au Québec.

Ce document se veut un outil et s'adresse à tous ceux qui oeuvrent à la conception, à la production et à la mise en oeuvre du béton fibré. Les intervenants ciblés par ce document sont les firmes de génie conseil, les propriétaires, les entrepreneurs, les finisseurs, les producteurs de béton et tous les conseillers techniques reliés à l'industrie du béton.

Ce guide de bonnes pratiques a été réalisé en collaboration avec les représentants des manufacturiers de fibres métalliques et de fibres synthétiques. L'Association béton Québec tient à remercier chaleureusement les participants de leur précieuse collaboration.

Chapitre 1 - Normes et références

1-1 Normes

Canadiennes :

- NQ 2621-900 *Bétons de masse volumique normale et constituants.*
Bureau de normalisation du Québec, Québec, 37 p. 2002.
- CSA A23.1/2 *Béton : constituants et exécution des travaux/Essais concernant le béton.*
Association canadienne de normalisation, Canada, 453 p. 2004.
- Appendice H : Béton de fibres;
 - A23.2-16C : Détermination du contenu en fibres métalliques dans le béton plastique.

Américaines (American Society for Testing and Materials, ASTM) :

- ASTM A 820 *Specification for Steel Fibers for Fiber-Reinforced Concrete;*
- ASTM C 418 *Standard Test Method for Abrasion Resistance of Concrete by Sandblasting;*
- ASTM C 779 *Standard Test Method for Abrasion Resistance of Horizontal Concrete Surfaces;*
- ASTM C 995 *Test Method for Time of Flow of Fiber-Reinforced Concrete Through Inverted Slump Cone;*
- ASTM C 1018 *Test Method for Flexural Toughness and First-Crack Strength of Fiber-Reinforced Concrete (Using Beam with Third-Point Loading);*
- ASTM C 1116 *Standard Specification for Fiber-Reinforced Concrete and Shotcrete;*
- ASTM C 1399 *Test Method for Obtaining Average Residual-Strength of Fiber-Reinforced Concrete;*
- ASTM C 1550 *Standard Test Method for Flexural Toughness of Fiber Reinforced Concrete (Using Centrally Loaded Round Panel).*

Japonaises :

- JCI-SF4 *Standards for Test Methods of Fiber Reinforced Concrete.*
Japan Concrete Institute, Toyko, 1984.

1-2 Index du vocabulaire technique

Un index du vocabulaire technique utilisé dans l'industrie est annexé à ce document. Les mots en italique dans le texte sont définis dans cet index.

1-3 Références techniques

Amerian Concrete Institute (ACI)

- ACI 302.1R *Guide for Concrete Floor and Slab Construction;*
- ACI 360R *Design of Slabs on Grade;*
- ACI 506.1R *State-of-the-Art Report on Fiber-Reinforced Shotcrete;*
- ACI 544-1R *State-of-the-Art Report on Fiber Reinforced Concrete;*
- ACI 544-2R *Measurement of Properties of Fiber Reinforced Concrete;*
- ACI 544.3R *Guide for Specifying, Proportioning, Mixing, Placing and Finishing Steel Fiber-Reinforced Concrete;*

ACI 544-4R *Design Considerations for Steel Fiber Reinforced Concrete;*
Rapport *Guide sommaire des coffrages isolants et du béton armé de fibres.*
Rapport du Groupe Teknika inc. Association du Coffrage Isolant, Québec, mai 2004.

1-4 Sites Internet de référence

Normes NQ : <http://www.bnq.qc.ca>
Normes CSA : <http://www.csa-international.org>
Normes ASTM : www.astm.org
American Concrete Institute : www.aci-int.org

1-5 Références des manufacturiers de fibres

Adjuvants Euclid Canada Tél. : (450) 465-2233
Michel Lessard (m.lessard@qc.aira.com) Téléc : (450) 465-2140
2835, boul. Grande Allée
Saint-Hubert (Québec) J4T 2R4
www.euclidchemical.com

Axim Italcementi Group Tél. : (514) 953-3703
Jean-Yves Charbonneau (jcarbonn@essroc.com) Téléc : (819) 375-0738
480 rue Williams
Trois-Rivières Ouest (Québec) G9A 3J4
www.aximconcrete.com

Bekaert Tél. : (450) 979-1117
Luc Lemoyne (luc.lemoyne@bekaert.com) Téléc : (450) 979-1159
5501 Route Transcanadienne
Pointe Claire (Québec) H9R 1B7
www.bekaert.com

Grace Canada inc. Tél. : (514) 366-3362
Louis Thouin (louis.d.thouin@grace.com) Téléc : (514) 366-0727
255 Avenue Lafleur
Lasalle (Québec) H8R 3H4
www.graceconstruction.com

Master Builders Technologies Tél. : (514) 325-9133
Jean Larivière (jean.lariviere@degussa.com) Téléc : (514) 328-9323
8725, boul. Pascal-Gagnon, bur 100
Saint-Léonard, (Québec) H1P 1Y5
www.masterbuilders.com

Optimet Concrete Products Ltée Tél. : (847) 487-7351
Paul Lafontaine (pmlafontaine@msn.com) Téléc : (847) 487-0857
245 Bridge Lane
Barrington, Illinois. 60010 USA
www.optimetconcrete.com

SI Concrete Systems Tél. : (450) 451-0800
Mylène Houle (mylene_houle@sind.com) Téléc : (450) 451-0802
335, Chemin du Coteau
Rigaud, (Québec) J0P 1P0
www.siconcretesystems.com

Chapitre 2 - Utilisation des fibres dans le béton

Les fibres de différentes compositions incorporées au béton ont pour effet d'augmenter la *résistance résiduelle* du béton. Dans certains cas, l'utilisation de fibres permet de renforcer la structure. En général, les fibres permettent une meilleure répartition des contraintes mécaniques. Ce chapitre présente les types d'ouvrages en béton fibré, les propriétés physiques majeures reliées à l'utilisation de fibres et les avantages du béton fibré.

2-1 Amélioration des caractéristiques mécaniques

L'utilisation de fibres augmente la ductilité du béton, c'est-à-dire ses caractéristiques en postfissuration. De plus, l'utilisation de fibres peut apporter une amélioration en flexion, en tension, en torsion et en cisaillement ainsi qu'à la résistance aux impacts et à la *fatigue*. Un béton fibré continue donc à supporter des charges après la formation de fissures.

L'augmentation de la capacité en flexion est obtenue grâce à l'augmentation de la *résistance résiduelle* par l'utilisation des fibres. Cette propriété est aussi fonction de la nature, de la quantité et de l'efficacité des fibres utilisées. Il est important de se rappeler que la distribution uniforme des fibres dans le mélange est la condition essentielle pour obtenir une amélioration des caractéristiques mécaniques du béton fibré.

Il faut combiner tout apport de fibres dans le béton à des techniques d'insertion des fibres permettant d'éviter la formation « d'oursins ». La section 5-2 de ce document décrit la séquence d'introduction des fibres dans le béton.

2-2 Contrôle de la fissuration de retrait

Selon l'efficacité du type de fibres utilisé, il est possible de mieux contrôler et de diminuer le phénomène de fissuration et d'augmenter les propriétés mécaniques en postfissuration.

Pour optimiser le contrôle de la fissuration, les fibres doivent être distribuées de manière homogène dans le béton tout en ayant un dosage adéquat (figure 2-1). L'utilisation de fibres aide donc à diminuer la fissuration causée par le retrait plastique.

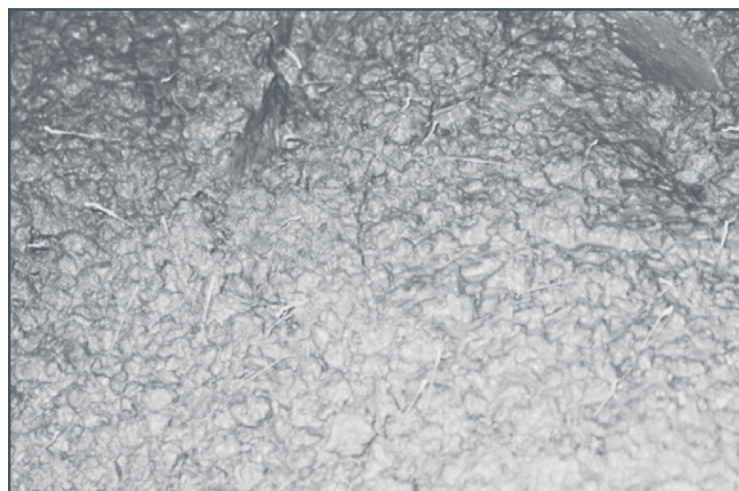


Figure 2-1 Texture d'un béton fibré

Pour le béton durci, le retrait de séchage reste présent, mais les fissures sont mieux contrôlées. Les fissures sont donc plus minces, moins longues et mieux distribuées sur la surface totale de l'ouvrage. Elles peuvent même s'avérer invisibles à l'œil nu.

2-3 Avantages du béton fibré

Les avantages de l'utilisation des fibres dans le béton sont présentés selon l'aspect technique et économique.

Aspect technique. L'utilisation d'un béton fibré est avantageuse principalement au niveau du contrôle de la fissuration ainsi que du support de charge, tout dépendamment du type de fibres et du dosage utilisé.

Les principaux avantages techniques sont :

- un renforcement tridimensionnel uniformément distribué à travers le béton;
- une augmentation de la ténacité grâce au comportement en postfissuration (*résistance résiduelle*);
- une énergie d'absorption élevée;
- une résistance aux impacts élevée;
- *une résistance à la fatigue* élevée;
- une augmentation de la résistance en cisaillement.

Aspect économique. Les principaux avantages économiques des bétons fibrés sont :

- une réduction des intervenants sur le chantier, ce qui implique une réduction du coût de mise en place et du temps de construction;
- une optimisation du dimensionnement.

2-4 Applications

La recherche et le développement ont permis d'appliquer un concept de renforcement structural à différents types d'ouvrages en béton. De par leurs propriétés, les fibres trouvent un vaste domaine d'applications où il faut réduire les risques de fissuration, augmenter la résistance aux impacts et tirer parti de l'amélioration de la performance du béton pour optimiser le dimensionnement des ouvrages.

Le béton fibré est utilisable dans tous les domaines du génie civil, aussi bien dans les constructions industrielles, commerciales et institutionnelles que résidentielles. Le chapitre 8 décrit plus en détail des utilisations spéciales de béton fibré.

Chapitre 3 - Procédures pour la commande de béton fibré

Le propriétaire ou le concepteur d'ouvrages se doit de considérer les paramètres de fabrication du béton fibré afin d'en optimiser la performance. Ce chapitre décrit les procédures à suivre pour faciliter la commande d'un béton fibré de qualité.

3-1 Responsabilités des intervenants pour une commande de béton selon une alternative de performance ou de prescription

La norme CSA A23.1 spécifie deux méthodes pour commander le béton selon une alternative de performance ou de prescription. La commande par performance responsabilise le producteur de béton qui se doit de livrer un produit performant selon les critères demandés par le propriétaire. Quant à la commande par prescription, elle responsabilise le propriétaire ou le concepteur lorsque des paramètres de dosage sont fournis. Il est recommandé de consulter un ingénieur pour obtenir les informations appropriées pour la conception de l'ouvrage. Si le professionnel nécessite plus d'informations, il est suggéré de se référer aux manufacturiers de fibres (voir la section 1-5).

Le tableau 1 « Commande de béton selon une alternative de performance ou de prescription », provenant du tableau 5 de la norme CSA A23.1, décrit les responsabilités des intervenants pour chacune de ces méthodes.

3-2 Procédures générales pour la commande de béton

Le béton est commandé au volume en m³ de béton frais déchargés du malaxeur. Pour le béton projeté par voie humide, le volume est aussi calculé à partir des quantités livrées par m³. Il est possible de choisir de calculer le volume à partir de la surface lorsque la mise en place du produit dans l'ouvrage est plane, de fini et d'épaisseur uniforme.

Les informations générales à spécifier sont les suivantes :

- la classe d'exposition du béton;
- le type de béton fibré ou projeté demandé;
- les types de ciment (GU, GUb-SF ou ternaire);
- la dimension nominale des granulats;
- l'affaissement¹
- le débit requis à la livraison (m³/heure);
- la teneur en air entraîné lorsque requis;
- la masse volumique lorsque du béton léger structural est requis.

Lorsque ces paramètres sont spécifiés, il faut procéder au choix de la méthode de commande du béton selon une alternative de performance ou de prescription.

¹ Étant donné que l'utilisation de fibres diminue l'affaissement du béton, il faut porter une attention particulière à sa valeur. La valeur de l'affaissement doit être reliée à la méthode de mise en place sélectionnée et aux particularités de l'élément à bétonner. L'ingénieur doit porter une attention particulière afin de spécifier un affaissement après l'ajout de fibres et de superplastifiants. L'ingénieur doit éviter de mentionner une valeur de l'affaissement qui correspond à celle d'un béton sans fibres et qui sort de l'usine de production. Il est important que le béton auquel seront incorporées les fibres ait une fluidité permettant l'introduction et la dispersion homogène des fibres. La norme CSA A23.1 délimite les modalités pour l'ajout d'eau (article 5.2.4.3.2). Par contre, pour éviter de modifier le rapport E/L, il est suggéré d'utiliser des adjuvants. (superplastifiants et/ou réducteurs d'eau de moyenne portée). Voir la section 5-6 pour plus d'information.

3-3 Procédures pour une commande de béton selon une alternative de performance

Lorsque le propriétaire ou le concepteur choisit de commander le béton selon une alternative par performance, les paramètres suivants sont à ajouter aux informations générales spécifiées au producteur de béton (section 3-2):

- la résistance à la compression;
- les *résistances résiduelles* du béton fibré;
- les critères de *résistance à la flexion* du béton (lorsque requis);
- tout autre critère de conception et toute donnée nécessaire.

Avis aux producteurs de béton : *Il est à noter que le producteur de béton qui désire réaliser un dosage adéquat doit connaître les données reliées à la conception de l'ouvrage. Il est fortement conseillé que le producteur de béton contacte le manufacturier de fibres de même que le manufacturier d'adjuvants pour la formulation du dosage.*

3-4 Procédures pour une commande de béton selon une alternative de prescription

Lorsque le propriétaire ou le concepteur choisissent de commander le béton selon une alternative de prescription, les paramètres suivants sont à ajouter aux informations générales spécifiées au producteur de béton (section 3-2) :

- le contenu cimentaire en m^3 ;
- la quantité maximale d'eau à ajouter en l/m^3 (incluant l'humidité des granulats);
- le pourcentage d'air entraîné lorsque nécessaire (type, nom, plage du dosage à utiliser pour obtenir la valeur requise);
- la quantité d'adjuvants lorsque nécessaire en l/m^3 ou en $ml/100$ kg de liant et le type à utiliser;
- la quantité en kg/m^3 et le type de fibres à utiliser.

3-5 Spécifications pour la commande des fibres

Les critères suivants doivent obligatoirement être joints à la commande de fibres :

- la désignation normative (principalement les normes ASTM);
- la quantité requise en kg ou en livres;
- les types de fibres admissibles;

Les spécifications suivantes sont à ajouter lors de l'utilisation de fibres métalliques :

- le diamètre, le diamètre équivalent ou l'échelle de variation admissible du diamètre;
- la longueur ou longueur nominale;
- le type de déformation (si requis).

Il est recommandé d'ajouter :

- la *résistance résiduelle équivalente* du béton fibré ($R_{e,i}$);
- les recommandations du manufacturier de fibres;
- les certificats de conformités des fibres (essais ASTM A820 pour les fibres métalliques et ASTM C1116 pour les fibres synthétiques).

3-6 Quantité de fibres à incorporer dans le béton

La section 5-5 de ce document précise la quantité de fibres à incorporer dans le béton.

3-7 Conformité des matériaux utilisés dans la production de béton fibré

Les usines qui détiennent une certification BNQ ont un protocole qui certifie que chacun des produits utilisés dans la production du béton fibré est conforme aux normes NQ et CSA en vigueur. Il est important que le contenant des différents types de fibres soit identifié en vue de se conformer à la norme NQ 2621-900.

Pour une usine non-certifiée, le propriétaire ou le concepteur doit s'assurer que les produits entrant dans la production du béton fibré soient conformes aux normes suivantes :

- le ciment doit être conforme à la norme CSA A3001;
- l'eau doit respecter les critères mentionnés dans la norme NQ 2621-900, article 6.1.5;
- les granulats doivent respecter les exigences de la partie IV de la norme NQ 2560-114;
- les adjuvants entraîneurs d'air utilisés doivent être conformes aux exigences de la norme ASTM C 260;
- les adjuvants chimiques et les superplastifiants doivent être conformes aux exigences des normes ASTM C 494/C 494M;
- les fibres métalliques doivent détenir un certificat de conformité selon la norme ASTM A 820 pour chaque lot;
- les *macrofibres synthétiques* doivent rencontrer le type III de la norme ASTM C1116;
- les colorants doivent respecter la norme ASTM C 979 pour chaque lot.

Tableau 3-1 Commande de béton selon une alternative de performance ou de prescription

Alternatives	Le propriétaire doit spécifier :	L'entrepreneur doit :	Le producteur de béton doit :
PERFORMANCE Le propriétaire exige que le producteur de béton assume la responsabilité pour la performance du béton à la livraison et l'entrepreneur assume la responsabilité pour le béton mis en place.	(a) les critères structuraux requis incluant la résistance à la compression à l'âge spécifié; (b) les critères de durabilité requis incluant la classe d'exposition; (c) les critères additionnels de durabilité, de stabilité volumique et d'architecture, de développement durable et tout autre critère additionnel de performance, de préqualification ou de vérification; (d) les exigences de gestion de la qualité; (e) si le producteur de béton doit satisfaire aux exigences des programmes de certification de l'industrie du béton; (f) toutes autres propriétés qui pourraient être requises afin de rencontrer les performances spécifiées.	(a) travailler avec le producteur de béton afin d'établir les propriétés du béton rencontrant les critères de performance pour le béton frais et durci, prenant en considération les critères de l'entrepreneur pour la construction et la mise en place ainsi que les critères de performance exigés par le propriétaire; (b) soumettre des documents démontrant que les exigences du propriétaire relativement à la performance ont été rencontrées; (c) préparer et mettre en pratique un plan de contrôle de qualité pour assurer que les critères de performance spécifiés par le propriétaire seront rencontrés et soumettre au propriétaire des documents démontrant que ses exigences de performance ont été rencontrées.	(a) certifier que l'usine, l'équipement et tout le matériel utilisé dans la fabrication du béton rencontrent les exigences de la norme CSA A23.1; (b) certifier que la formule de mélange satisfait aux exigences de la norme CSA A23.1; (c) certifier que la production et la livraison du béton rencontreront les exigences de la norme CSA A23.1; (d) certifier que le béton rencontre les critères de performance spécifiés; (e) si requis, préparer et mettre en pratique un plan de contrôle de qualité afin d'assurer que les exigences du propriétaire et de l'entrepreneur concernant la performance seront rencontrées; (f) si spécifié, certifier que le producteur de béton rencontre les exigences de certification de l'industrie; (g) à la demande du propriétaire, soumettre une documentation satisfaisante démontrant que le mélange proposé rencontrera les exigences de résistance, de durabilité et de performance requis;
PRESCRIPTION Le propriétaire assume la responsabilité pour le béton commandé.	(a) les proportions du mélange incluant les quantités massiques de tous les constituants (adjuvants, granulats, matériaux cimentaires, eau) par m³ de béton; (b) la plage admissible de la teneur en air; (c) la plage admissible de l'affaissement; (d) l'utilisation d'un plan de contrôle de qualité (si requis); (e) d'autres exigences applicables.	(a) planifier les méthodes de construction en se basant sur les proportions des constituants et les paramètres établis par le propriétaire; (b) obtenir l'approbation du propriétaire pour tout écart par rapport aux proportions du mélange ou aux paramètres spécifiés; (c) signaler au propriétaire tous problèmes ou toutes déficiences anticipées reliés aux paramètres du mélange pouvant affecter la construction.	(a) certifier que l'usine, l'équipement et tous les matériaux utilisés dans la production du béton rencontrent les exigences de la norme CSA A23.1; (b) s'assurer que le béton rencontre les critères de prescription fournis par le propriétaire; (c) signaler à l'entrepreneur tous problèmes ou toutes déficiences anticipés reliés aux paramètres du mélange qui pourraient affecter la construction.

(1) Le propriétaire peut accepter les programmes de certification des associations provinciales ou régionales de béton prêt à l'emploi (c.-à-d. APRMCA Concrete production Facilities Certification Program, Association béton Québec BNQ 2621-905, RMCAO Approved Quality Plan, MRMCA, SRMCA Concrete production Facilities Certification Program, ARMCA Alberta Certification of Concrete Production Facilities, BCRMCA). Ces programmes de certification traitent des matériaux, de la manipulation, du dosage, des équipements, etc., et assurent la capacité du producteur à fabriquer un béton tel que spécifié par chacun des programmes.

Note : Se référer à l'annexe J de CSA A23.1-2004 pour avoir plus d'informations et des directives spécifiques sur l'utilisation de ce tableau.

Référence : Tableau 5 de CSA A23.1

Chapitre 4 - Types de fibres et propriétés

Il existe sur le marché diverses catégories de fibres pouvant être incorporées au béton. Voici les quatre classes de fibres existantes :

- synthétique (acrylique, aramide, carbone, nylon, polyester, polyéthylène et polypropylène);
- naturelle (bagasse, noix de coco, jute, maguey, banane, palmier et bambou);
- métallique (inoxydable, galvanisé, fil étiré à froid, tôle découpée, extrusion de matière fondue);
- verre (sodocalcique, borosilicaté, Cem-Fil et NEG);

Ce chapitre décrit les fibres qui sont les plus utilisées dans le béton préparé au Québec, soit les fibres synthétiques et les fibres métalliques. Il est suggéré de se référer au document de l'ACI 544 pour obtenir de l'information sur les fibres de verre et les fibres naturelles.

4-1 Fibres synthétiques

Les fibres synthétiques proviennent des polymères organiques et sont le résultat de recherches et des développements de l'industrie pétrochimique et du textile. Les fibres reconnues comme les plus résistantes sont : les polyoléfines, les polypropylènes, les polyéthylènes, le nylon et le carbone.

Les fibres synthétiques s'incorporent à la pâte de ciment sans provoquer de réaction chimique et sans se corroder. De plus, l'allongement à la rupture des fibres synthétiques, qui est de 15 à 20 %, favorise la ductilité du béton. Les fibres synthétiques tirées des matières plastiques sont, par contre, peu résistantes au feu. La température de fusion ou température à laquelle les fibres deviennent très molles et perdent leurs propriétés est d'environ 160°C. L'appendice H de la norme CSA A23.1 classe les fibres synthétiques en deux catégories selon leur dimension : les microfibres et les macrofibres synthétiques.

Les microfibres synthétiques : La classification des *microfibres synthétiques* s'effectue à partir de la dimension et du poids de la fibre, conformément à l'industrie du textile. Le diamètre ou le diamètre équivalent doit être converti en *denier*.

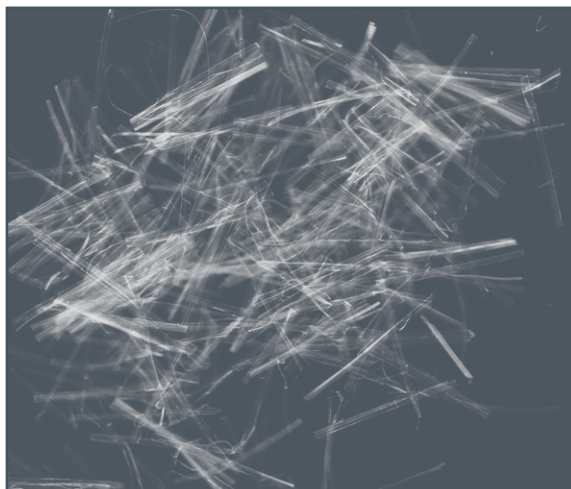


Figure 4-1 Microfibres synthétiques

Les microfibres synthétiques sont en forme de monofilament très fin ou fibrillé (figure 4-1). Leur longueur varie de 0,8 à 50 mm et leur diamètre est inférieur à 0,2 mm. Les microfibres synthétiques sont utilisées pour diminuer le retrait plastique.

L'amélioration des propriétés mécaniques par l'utilisation de macrofibres synthétiques est proportionnelle à leur taux d'addition et à leur efficacité. De plus, ces fibres apportent une augmentation de la ténacité du béton et, par le fait même, elles améliorent son comportement en postfissuration.

Les macrofibres synthétiques : ces fibres sont en forme de filaments grossiers (figure 4-2). Leur longueur varie de 25 à 65 mm et leur diamètre équivalent est de 0,2 à 1,2 mm. L'utilisation de ce type de fibre permet une meilleure résistance aux impacts et à la *fatigue* et améliore le contrôle de la fissuration. Certains types de fibres sont aussi reconnus pour diminuer la fissuration provoquée par le retrait plastique.

Le tableau 4-1 (page suivante), traduit du document de l'ACI 544-1R, présente différents types de fibres synthétiques ainsi que leurs propriétés mécaniques.



Figure 4-2 Macrofibres synthétiques

4-2 Fibres métalliques

Les fibres métalliques sont de types et de formes variées et présentent une très bonne compatibilité avec le béton. La figure 4-3 présente différentes géométries de fibres métalliques. Les fibres sont composées d'acier au carbone, d'acier inoxydable ou d'acier galvanisé contre la corrosion. En général, la longueur des fibres varie de 25 à 60 mm et le diamètre varie de 0,5 à 1,3 mm. La fabrication des fibres métalliques s'effectue selon plusieurs méthodes en relation avec leurs formes géométriques multiples (ASTM A 820).

<u>Bouts ondulés</u>	<u>Bouts plats</u>	<u>Bouts en crochets</u>
		
<u>Crêpé</u>	<u>Tôle ondulée déformée</u>	<u>Tôle ondulée déformée</u>
		
<u>Tôle ondulée déformée</u>	<u>Amorphe</u>	<u>Autre machinage</u>
		

Figure 4-3 Géométrie des fibres métalliques

Tableau 4-1 Propriétés des fibres synthétiques

Type de fibres	Diamètre équivalent (x 10 ⁻⁵ m)	Densité relative	Résistance à la traction (MPa)	Module d'élasticité (MPa)	Pourcentage d'allongement à la rupture	Température d'inflammation (°C)	Température de fusion d'oxydation ou de décomposition (°C)	Absorption d'eau (ASTM D 570) % de masse
Acrylique	5 - 17	1,16 – 1,18	200 - 1000	14 000 - 19 000	7,5 - 50	-	220-235	1,0 – 2,5
Aramide I	12	1,44	2900	62 000	4,4	élevée	480	4,3
Aramide II (module élevé)	10	1,44	2340	120 000	2,5	élevée	480	1,2
Carbone I	8	1,6 – 1,7	2480 – 3030	380 000	0,5 – 0,7	élevée	400	nul
Carbone II	9	1,6 – 1,7	3445 – 4000	230 000	1,0 – 1,5	élevée	400	nul
Carbone III	10 - 13	1,6 – 1,7	480 - 795	27 000 - 35 000	2,0 – 2,4	élevée	400	3 – 7
Carbone IV	9 - 18	1,8 – 2,15	1515 – 3100	150 000 - 480 000	0,5 – 1,1	élevée	500	nul
Nylon	23	1,14	1000	5200	20	-	200-220	2,8 – 5,0
Polyester	10 - 80	1,34 – 1,39	220-1100	17 000	12 - 150	590	255	0,4
Polyéthylène	25 - 1000	0,92 – 0,96	80 - 600	5000	3 – 80	-	135	nul
Polypropylène	20 - 200	0,90 – 0,91	140 - 700	3400 - 4800	15	590	165	nul

Référence : Tableau 4.1 de ACI 544.1

Note :

Carbone I = à base de polyacrylonitrile, module élevé.

Carbone II = à base de polyacrylonitrile, résistance à la traction élevée.

Carbone III = basé sur un angle isotropique élevé, usage général.

Carbone IV = basé sur un angle mésophase à haute performance

La norme ASTM A 820 identifie cinq types de fibres métalliques :

- **type I** : fil étiré à froid;
- **type II** : tôle découpée;
- **type III** : extrusion de matière fondue;
- **type IV** : autres fibres;
- **type V** : fabriqués par rasage de fil tréfilé.

La plupart des fibres disponibles sur le marché québécois sont de type I (figure 4-4).

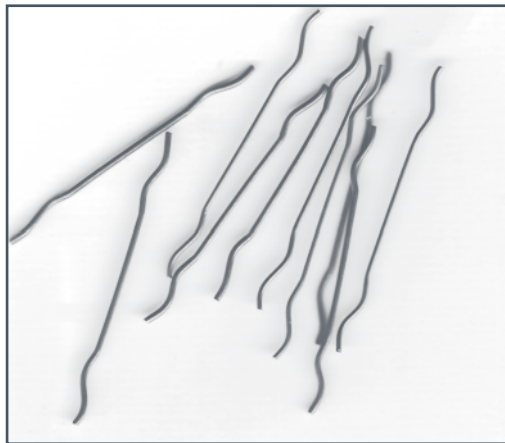


Figure 4-4 Fibres métalliques

4-3 Propriétés des fibres

4-3-1 La notion de fibres structurales

La notion de fibres structurales n'est applicable qu'à certains types de fibres métalliques pour lesquelles les *résistances résiduelles* s'apparentent à l'action structurale des armatures traditionnelles. Il est important de réaliser que le terme « fibre structurale » est inapplicable à la plupart des types de fibres.

Il est à noter que les applications de dalles sur sol ne sont pas considérées comme étant structurales. Les fibres métalliques et les *macrofibres synthétiques* peuvent être utilisées en concentration nécessaire pour satisfaire aux spécifications du devis.

4-3-2 Le facteur d'élançement

Le facteur d'élançement est défini par un ratio géométrique. Le facteur d'élançement est donc le ratio qui représente le rapport de la longueur sur le diamètre équivalent de la fibre. Le tableau 4-2 indique des valeurs de ratio pour certains types de fibres.

Types de fibres	Élançement (L/D)
Macrosynthétiques	50-100
Métalliques	25-100
Fonte amorphe	1200-1400
Polypropylène	140-1700
Carbone	150-400

Tableau 4-2 Facteur d'élançement

Le lien entre la matrice du béton et la fibre augmente proportionnellement avec le facteur d'élancement. Par contre, les fibres avec un facteur d'élancement supérieur à 60 et dotées d'une géométrie particulière sont potentiellement susceptibles de former des « oursins ».

4-3-3 La performance

La performance des fibres est directement reliée à la valeur de *résistance résiduelle* qu'il est possible d'obtenir pour une formulation donnée d'un béton. La performance des fibres est évaluée selon différentes normes japonaises et américaines (section 1-1).

4-3-4 La valeur de *résistance résiduelle*

Les fibres dans le béton apportent une meilleure résistance aux déformations en flexion des ouvrages de béton soumis à des charges. C'est lorsque apparaît la première fissure que les fibres sont sollicitées et qu'il est possible de déterminer une valeur de *résistance résiduelle*. Effectivement, les fibres apportent une meilleure cohésion et résistance intrinsèque de la matrice et augmentent ainsi la résistance à la propagation et à l'augmentation de la fissuration. Les fibres permettent une reprise de charge en postfissuration.

Il existe trois méthodes d'essais de référence qui donnent des valeurs différentes pour la détermination de la *résistance résiduelle* :

- ASTM C1018 :détermine le *facteur de résistance résiduelle*;
- ASTM C1399 :détermine la *résistance résiduelle moyenne*;
- JCI SF-4 : détermine la *résistance résiduelle équivalente*.

L'essai JCI SF-4 est le plus utilisé pour les méthodes de conception.

4-3-5 La distribution des contraintes mécaniques

Un des principaux avantages de l'ajout des fibres est le meilleur contrôle de la postfissuration du béton. Les fibres ont la particularité d'absorber l'énergie de fissuration et de redistribuer les contraintes mécaniques dans la matrice du béton.

La répartition des fibres dans la masse du béton permet de différer la rupture fragile du béton en s'opposant à la propagation des microfissures (figure 4-5). Selon les fibres utilisées et les ouvrages auxquels elles sont incorporées, ce rôle se traduit par des améliorations en postfissuration relatives à :

- la résistance à la traction;
- la résistance aux impacts;
- la *résistance à la fatigue*;
- la résistance à l'abrasion;
- la réduction des fissures de retrait.

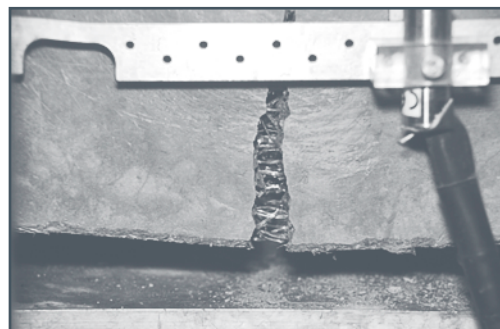


Figure 4-5 Essais de l'ASTM C 1018

4-3-6 La résistance à l'abrasion

L'essai de résistance à l'abrasion s'effectue selon les normes ASTM C 418 et C 779. Un article de la revue « Concrete Technology Today » de l'Association Canadienne du Ciment explique la résistance à l'abrasion de la manière suivante :

Les informations sur la résistance à l'abrasion du béton fibré sont rares et conflictuelles. Selon les valeurs disponibles, lorsque l'érosion est provoquée par la cavitation et par l'action abrasive d'un fort débit d'eau ou à l'impact de larges débris, c'est alors que le béton fibré améliore la résistance à l'abrasion. Par contre, pour une érosion de basse vitesse, c'est plutôt la propriété de la matrice et des granulats que celle de l'utilisation de fibres qui détermine la résistance à l'abrasion. De la même façon, c'est également la propriété de la matrice qui détermine la résistance à l'usure pour le pavage et les dalles sur sol.

4-3-7 Les propriétés spécifiques à chaque type de fibres

Les fibres ont un rôle qui se traduit par des résultats variables, donc des applications différentes en fonction de leur nature. Pour apprécier l'apport des fibres au béton et leur influence sur ses lois de comportement, il importe de connaître leurs caractéristiques, aussi bien géométriques que mécaniques.

Selon leur type, les fibres métalliques, synthétiques ou naturelles ont une influence différente sur les propriétés du béton durci.

Le type de liant utilisé dans le béton, la géométrie et la composition des fibres, ainsi que leur orientation, leur distribution et leur densité à travers le béton, sont des facteurs qui influencent les propriétés du béton frais et durci.

5-1 Introduction des fibres dans le béton

Les producteurs membres de l'ABQ considèrent que les fibres incorporées au béton doivent être traitées comme des adjuvants et des granulats et donc ajoutées par le producteur de béton à l'usine. Le producteur de béton est le mieux placé pour livrer un produit de performance selon l'utilisation demandée d'un béton fibré coulé en place. Par contre, il est important que le producteur considère le béton fibré comme un composite de haute gamme. Il est donc important que le producteur soit disposé à adapter la formulation des composantes du béton à l'incorporation de fibres.

Introduction des fibres à l'usine. Cette méthode permet de mieux homogénéiser le béton, car le temps de malaxage peut être augmenté. Par le fait même, il y a un meilleur contrôle de la qualité du produit livré. Il est également plus facile d'ajuster et de modifier la formulation du béton en usine. Un ajustement de la quantité d'adjuvants peut être nécessaire afin d'obtenir un niveau de fluidité permettant de bien disperser les fibres et aussi lorsque des variantes de température et de livraison surviennent en chantier.

Introduction des fibres au chantier. Cette méthode est fortement déconseillée, car elle provoque un surmalaxage du béton qui augmente le temps de mise en place. De plus, l'introduction des fibres au chantier peut diminuer la dispersion des fibres en fonction du temps de malaxage et du type de camions malaxeurs². Le contrôle qualitatif en chantier est donc plus difficile à réaliser qu'en usine.

5-2 Séquence d'introduction des fibres

Les fibres peuvent être ajoutées au moyen d'un convoyeur, d'une soufflerie ou de toute autre méthode qui permet un ajout uniforme, constant et sans agglomération de fibres non dispersées (phénomène communément appelé « formation d'oursins »). Il est recommandé que les toupies des camions malaxeurs soient munies d'ailettes propres et adéquates permettant une bonne dispersion des fibres lors du malaxage. Il est à noter que l'ajout des fibres au béton implique que la construction des rampes servant à l'ajout des fibres soient approuvées par la Commission de la santé et de la sécurité au travail (CSST).

Selon le type de fibres utilisé, leur géométrie et surtout la quantité spécifiée, il faut prévoir une séquence appropriée d'introduction des fibres. Il est très important de consulter le manufacturier de fibres à cet effet.

5-3 Proportion des constituants

Comparativement au béton traditionnel, le béton fibré peut nécessiter un ajustement des proportions de ses constituants. Cette procédure peut être nécessaire pour faciliter l'homogénéisation et la maniabilité du béton.

² Il est déconseillé d'utiliser des camions de type agitateur pour les ouvrages de béton fibré.

Les principales caractéristiques de la composition du béton fibré peuvent être ajustées selon la concentration et le type de fibres utilisés. Les principaux constituants ou caractéristiques qui peuvent être affectés sont :

- une augmentation de la quantité de granulats fins;
- une augmentation de la quantité de liant;
- un ajustement de la distribution granulométrique globale;
- un ajustement de la maniabilité proportionnellement au contenu en fibres;
- un ajustement de la teneur en air.

Il est à noter qu'une combinaison adéquate de granulats fins et grossiers permet d'aider à optimiser l'homogénéité de la distribution des fibres dans le béton et facilite l'obtention d'un affaissement permettant une mise en place adéquate du béton fibré.

Le tableau 2.1 du document de l'ACI 544.1R-8 donne plus d'informations sur la granulométrie des granulats pour le béton fibré. Le tableau 2.2 de ce même document donne la marge de variation pour la proportion des constituants du béton.

Air entraîné : Le béton fibré doit contenir de l'air entraîné s'il doit résister au gel/dégel en présence ou non de sels déglacants. La quantité d'air entraînée est la même que celle spécifiée au tableau 7 de la norme NQ 2621-900.

5-4 Rapport E/L et résistance à la compression

L'utilisation de fibres dans le béton en concentration normale n'a généralement aucune influence sur la résistance à la compression du béton. La détermination de la résistance appropriée se fait donc selon la méthode courante basée sur la classe d'exposition du béton aux intempéries ou sur des considérations structurales.

La valeur maximale du rapport E/L et celle de la résistance minimale à la compression à 28 jours sont similaires au béton traditionnel. Le tableau 6 de la norme NQ 2621-900-2002 spécifie ces valeurs de E/L et de résistance à la compression (ci-joint). Cette valeur du E/L doit être respectée et en aucun cas elle ne doit être considérée comme une variable. L'article 5.2.4.3.2 de la norme CSA A23.1 délimite les modalités de l'ajout d'eau, mais il est suggéré de compenser les pertes de maniabilité du béton par l'ajout de superplastifiant et/ou de réducteur d'eau de moyenne portée.

5-5 Quantité de fibres à incorporer au béton

La norme CSA A23.1 recommande d'utiliser des quantités de fibres dans le béton qui varient selon le type de fibres et selon l'application et les recommandations faites par les ingénieurs et les manufacturiers de fibres. La version 2004 de la norme CSA introduit l'essai A23.2-16C permettant de déterminer la masse de fibres métalliques par volume de béton. L'annexe H de la norme CSA A23.1 spécifie les quantités de fibres utilisées dans le béton. La façon d'insérer les fibres, le taux d'ajouts et les méthodes sont décrits à la section 5-2 du présent document.

Microfibres synthétiques. Les quantités normatives spécifiées sont de 0,6 à 0,9 kg/m³. En pratique, selon les types de fibres, les quantités peuvent varier de 0,3 à 1,8 kg/m³. L'utilisation de quantités supérieures à 0,9 kg/m³ peut entraîner des problèmes en ce qui concerne la maniabilité du béton, en raison de la surface spécifique élevée de ce type de fibre qui provoque la formation « d'oursins ».

Macrofibres synthétiques. Les quantités normatives spécifiées sont de 2 à 9 kg/m³. En pratique, selon les types de fibres, les quantités peuvent varier de 1,8 à 11 kg/m³. Contrairement aux microfibres, il est possible d'utiliser des quantités élevées de macrofibres grâce à leur surface spécifique plus faible.

Fibres métalliques. Les quantités normatives spécifiées pour l'insertion sont entre 15 et 45 kg/m³. En pratique, selon les types de fibres, les quantités peuvent varier de 15 à 60 kg/m³ pour des bétons réguliers nécessitant de légers ajustements au niveau de la formulation. Lorsque des concentrations supérieures à 35 kg/m³ sont utilisées, des ajustements plus importants sont nécessaires, toujours selon le type de fibres et la concentration utilisés. Les fibres sont à ce moment considérées comme des granulats et un ajustement de la quantité de liants et de granulats intermédiaires (10-14 mm) est nécessaire.

Pour tous types de fibres, il est nécessaire de s'assurer d'une bonne dispersion des fibres dans le béton afin d'éviter la formation « d'oursins ».

À titre informatif

- Pour les fibres métalliques, une quantité de 78 kg/m³ équivaut approximativement à 1 % par volume.
- Pour les fibres synthétiques, une quantité de 9 kg/m³ équivaut approximativement à 1 % par volume.

5-6 Affaissement du béton et adjuvants

L'ajout de superplastifiants est recommandé pour le béton fibré afin d'éviter l'apport excessif d'eau au chantier et également dans le but d'augmenter la fluidité du béton avant l'insertion des fibres. Habituellement, l'ajout de superplastifiants s'effectue au chantier après le test d'affaissement, mais il arrive très souvent qu'il se produise à l'usine avant l'ajout des fibres (spécialement lors de l'utilisation de fibres métalliques). Pour déterminer s'il est recommandable d'ajouter des superplastifiants avant l'addition des fibres, il est suggéré de vérifier avec le manufacturier de fibres. Toutefois, il est possible d'ajouter des superplastifiants à l'usine grâce à l'arrivée de nouveaux produits sur le marché.

Le béton fibré peut être fini à l'aide des techniques habituelles et de l'équipement généralement utilisé. Quelques précautions particulières doivent être prises pour éviter l'apparition de fibres en surface et l'éclatement des arrêtes lors de la réalisation des traits de scies des joints de contrôle.

6-1 Pompage du béton

Un béton dont la composition est bien adaptée aux contenus en fibres peut être pompé même si la consistance semble peu maniable (figure 6-1). Il est recommandé d'utiliser des superplastifiants et/ou des réducteurs d'eau de moyenne portée au lieu d'ajouter directement de l'eau dans le béton.

Voici les recommandations à suivre pour faciliter le pompage :

- utiliser une pompe adaptée aux volumes et aux pressions du produit;
- utiliser une pompe avec des tuyaux dont le diamètre est approprié à l'ouvrage;
- réduire l'utilisation de tuyaux flexibles;
- utiliser une grille à l'embouchure de la pompe pour éviter « l'entrée d'oursins »;
- éviter de pomper un mélange trop fluide qui pourrait alors créer de la ségrégation. La pression de la pompe peut provoquer une séparation des constituants et causer une agglomération de fibres et de granulats grossiers ayant comme résultat de former des amas sans mortier;
- prévoir un espace libre entre la dalle de déchargement et la grille de la pompe ainsi qu'entre la grille et le béton dans la pompe (figure 6-2);
- utiliser un système de vibration à même la grille de la pompe



Figure 6-1 Pompage du béton



Figure 6-2 Espace libre à la sortie

6-2 Finition de surface

Équipement. Pour réaliser la finition du béton fibré, il est recommandé d'utiliser des truelles doubles d'aplanissement. L'utilisation de truelles simples nécessite plus d'attention. Pour accomplir une réalisation de qualité, les autres équipements recommandés sont : des règles de dressage, un équipement laser et des poutres lisseuses. L'utilisation de règles vibrantes oriente horizontalement les fibres à la surface et permet de faire remonter plus de pâte, ce qui entraîne une diminution de l'apparition des fibres en surface.

Il a été prouvé que la compaction améliore les propriétés du béton. Si un vibreur interne est utilisé, il faut éviter de le traîner, car cette mauvaise pratique détruit l'orientation tridimensionnelle des fibres.

La présence de fibres en surface peut être causée par différents facteurs, dont :

- l'utilisation de truelles avec des angles trop prononcés;
- un mauvais réglage de base avant la finition;
- un béton peu maniable;
- une finition prématurée ou tardive;
- l'utilisation d'une truelle simple au lieu d'une truelle double;
- une finition à la main.

Voici des recommandations concernant l'équipement utilisé :

- garder les truelles le plus à plat possible à la surface du béton (figure 6-3);
- utiliser un aplanissoir après le réglage du béton.



Figure 6-3 Finition du béton fibré

Méthodologie. Il est recommandé de sensibiliser l'équipe de finissage à l'importance d'une finition au moment propice. Un des finisseurs devra récupérer les fibres apparentes et celles qui ressortent et remplir, au besoin, les défauts de surface avec du mortier. Il est suggéré d'effectuer une dernière inspection avant de compléter la finition afin d'effectuer les derniers correctifs nécessaires.

6-3 Béton armé

La vibration est la seule méthode adéquate pour permettre la mise en place du béton fibré autour des armatures. Pour les murs minces ou les poutres (100 mm ou 4 pouces et moins), la présence de treillis métalliques complique la mise en place du béton fibré. Pour ces cas, un béton avec des granulats de grosseur nominale maximale de 10 mm est recommandé.

6-4 Traits de scie

Le temps de prise du béton est considérablement influencé par de nombreux paramètres et la présence de fibres demande une attention particulière. Quel que soit le cas, une attente trop longue avant le sciage peut causer de la fissuration. Une coupe trop hâtive et l'utilisation d'équipement mal entretenu peut être la cause d'éclatement des arêtes. La profondeur des traits de scie dépend du type d'équipement utilisé. Il est suggéré de se référer au maître d'œuvre et d'appliquer ses recommandations. L'équipe de finisseurs-coupeurs a la responsabilité de suivre les procédures nécessaires lors de la réalisation de traits de scie pour obtenir une coupe propre, sans bavures et sans éclatements (figure 6-4).

Le document de l'ACI A302.1R mentionne les différentes procédures selon la méthode choisie pour effectuer les joints (coupe humide « wet-cut » ou coupe à sec « dry-cut »). Avant de débiter le sciage de la dalle, il est recommandé d'effectuer un essai de sciage d'environ cinq mètres de longueur. Cette procédure permet de déterminer si le béton a atteint une maturité adéquate.

Si le béton éclate, il est recommandé de patienter avant de continuer et de vérifier l'état de l'équipement, principalement des lames de coupe. En tout temps les équipements doivent être pourvus de lames de bande de glissement. Ces équipements doivent être conformes, entretenus et remplacés selon les recommandations des fabricants.



Figure 6-4 Traits de scie pour une dalle sur sol

La performance d'un béton fibré dépend de plusieurs paramètres. Tout comme le béton conventionnel, la mise en oeuvre, et principalement la qualité du béton et de la finition, influencent beaucoup la qualité du béton fini. La norme ASTM C1116 mentionne que les paramètres de qualité qui appartiennent spécifiquement à un béton fibré sont : la résistance physique des fibres lors du malaxage, l'homogénéisation des fibres dans la matrice, la compatibilité des fibres avec la pâte de ciment et la résistance des fibres aux conditions en service.

7-1 Essais de contrôle de qualité

Les essais de contrôle de qualité pour le béton fibré sont les mêmes que ceux pour le béton conventionnel, soit la résistance à la compression, l'affaissement, la température, la masse volumique et la teneur en air. Il est à noter que ces essais s'effectuent à la sortie de la bétonnière.

Le document de l'ACI 544-2R concerne les mesures des propriétés du béton fibré. Les informations suivantes sont un résumé des points essentiels à considérer.

Les prises de mesures d'affaissement ou d'étalement, de la masse volumique et de la teneur en air du béton frais contenant des fibres s'effectuent de la même manière qu'un béton conventionnel :

- détermination de l'affaissement ou de l'étalement du béton : CSA A23.2-5C;
- détermination de la teneur en air du béton plastique par la méthode de pression d'air : CSA A23.2-4C;
- détermination de la masse volumétrique, de la performance et de la teneur en liant du béton plastique : CSA A23.2-6C.

Une attention particulière doit être portée au prélèvement des cylindres pour les essais de résistance à la compression, principalement lorsque la concentration en fibres est élevée.

7-2 Maniabilité

La maniabilité d'un béton fibré peut être évaluée par des essais d'affaissement, de débit (ASTM C 995) ou de *consistomètre Vebe* (BS 1881). Le test d'affaissement est celui le plus connu et utilisé sans être nécessairement le plus valide. Par contre, lorsque les caractéristiques du béton frais ont bien été établies, l'essai d'affaissement peut devenir une bonne référence pour la consistance du béton frais (ACI 544.2R-3).

La méthode de « Durée de l'écoulement à travers le cône d'affaissement inversé » (*consistomètre Vebe*, BS 1881), a spécialement été développée pour du béton fibré (ASTM C 995). Cet essai permet de mesurer la mobilité ou la fluidité du béton soumis à des vibrations internes.

7-3 Dispersion et homogénéisation

La dispersion et l'homogénéisation des fibres dans la matrice sont primordiales pour obtenir un béton fibré ayant les propriétés physiques désirées. Ce document a mentionné plusieurs paramètres qui influencent la dispersion et l'homogénéisation :

- le type de fibres et la quantité spécifiée;
- l'étape à laquelle les fibres sont introduites dans le béton;
- la vitesse d'introduction des fibres dans le béton;
- la consistance du béton;
- la mise en place;
- la finition.

7-4 Responsabilité des intervenants face à la performance

Il est très important que chacun des intervenants applique les recommandations des manufacturiers. Le producteur de béton et le finisseur se doivent de respecter les spécifications du manufacturier de fibres pour la fabrication et la réalisation d'un béton fibré de qualité.

7-5 Résistance à la corrosion

Les fibres synthétiques n'apportent aucune corrosion. Lorsque demandé par le propriétaire, les fibres synthétiques qui émergent de la surface durcie peuvent être brûlées avec une torche.

Les fibres métalliques d'un béton sont vulnérables à la corrosion lorsqu'elles sont exposées à la surface. Les parties des fibres qui sont noyées dans la matrice ainsi que toutes les fibres contenues dans la masse du béton sont protégées de la corrosion. Lorsque demandé par le propriétaire, les fibres métalliques exposées peuvent être enlevées.

Chapitre 8 - Utilisations spéciales

8-1 Dalles sans joints de contrôle

En Europe, la technique de dalle sans joints de contrôle a été introduite au début des années 1980 et est depuis lors devenue courante avec plusieurs dizaines de millions de m² de réalisation. En Amérique du nord, ce type de conception a été introduit vers la fin des années 1980. Les mauvaises performances de ces systèmes comparé aux exigences et aux attentes des marchés locaux ainsi que les coûts impliqués ont terni et même retardé l'implantation de dalles sans joints de contrôle.

Quelques réalisations ont été effectuées récemment au Québec (figure 8-1). Il est très important de noter que la réussite des dalles sans joints est directement reliée au suivi minutieux des techniques de construction (conception, contrôle, préparation, mise en place, finition et cure).

Les dalles sans joints de contrôle sont des produits spéciaux qui nécessitent un investissement monétaire supplémentaire ainsi qu'une attention particulière. Il est à noter qu'un réseau de fissuration naturel et aléatoire peut toujours se développer dans les dalles sans joints. Le retrait plastique et de séchage est toujours présent malgré l'utilisation de fibres. Les dalles sans joints sont plus sensibles à la fissuration. Une méthode particulière de construction doit être utilisée pour ce type d'ouvrage. Il existe des adjuvants spéciaux (réducteurs de retrait) qui aident au contrôle de la fissuration.



Figure 8-1 Dalles sans joints de contrôle

8-2 Béton projeté

Le béton projeté avec fibres est particulièrement utile pour les ouvrages où la réalisation de béton banché est impraticable ou plus coûteuse. Il est surtout utilisé pour la stabilisation de roches en pentes, de tunnels, dans les mines, pour les ouvrages minces et de réparation (panneaux de béton préfabriqué).

Il existe deux méthodes pour appliquer le béton projeté : par procédé humide ou par procédé sec. Le choix de l'un ou l'autre se fait selon les applications à réaliser.

8-3 Béton à infiltration de coulis (SIFCON)

Le SIFCON (Slurry Infiltrated Fiber Concrete) est une méthode utilisée pour la construction de certaines applications spécifiques, telles que du coulis mis en place et du béton préfabriqué destiné à des profils ou à des structures de hautes résistances aux impacts et aux explosions.

Le processus consiste à placer les fibres dans le moule ou dans un coffrage et à insérer le coulis de ciment par la suite. Cette méthode exclut l'utilisation de granulats fins ou grossiers. L'avantage de cette méthode est de permettre l'utilisation d'un taux élevé de fibres pouvant atteindre 18 %. La matrice est composée d'un plus grand volume de particules fines. Il est nécessaire d'utiliser la vibration externe pour faire l'introduction du coulis de ciment.

8-4 Dalles sur pieux

Certaines fibres métalliques permettent un renforcement structural des dalles industrielles posées sur pieux. Pour certains cas bien spécifiques, les armatures traditionnelles peuvent être remplacées intégralement par des fibres métalliques. Dans d'autres cas, il doit y avoir une combinaison des deux produits. Quelques réalisations ont été effectuées au Québec avec seulement des fibres métalliques où la technique a été introduite en 1993.

8-5 Coffrage isolant

En 2004, le groupe Teknika a été mandaté pour formuler des recommandations quant à l'usage des fibres dans le béton mis en place dans les coffrages isolants de résidences unifamiliales (référence : section 1-4).

Cette étude montre qu'il est possible d'utiliser des fibres tout en demeurant conforme au Code national du bâtiment. Pour un béton de 25 MPa, le taux minimum de fibres doit permettre d'obtenir une résistance résiduelle $R_{e,3} \geq 0,30$. Toutefois, il faut utiliser de l'armature traditionnelle en divers endroits pour résister aux efforts provoqués par les séismes comme aux joints de coulées, aux angles de murs et autour des ouvertures.

Consistomètre Vebe

Appareil servant à déterminer la maniabilité du béton frais par la mesure du temps nécessaire pour qu'une masse de béton démoulée épouse la forme d'un autre moule, un procédé de compactage donné étant employé (essai de moulage).

Denier

Mesure de masse linéique utilisée pour tout matériau linéaire. Numériquement, il correspond à la masse en grammes, d'une longueur de 9000 mètres de fils ou de fibres. La diminution de la valeur du denier signifie que le diamètre de la fibre diminue.

Facteur de résistance résiduelle ($R_{m,n}$) (Residual Strength Factor)

Nombre obtenu en soustrayant les valeurs des *indices de ténacité* I_m et I_n . Par exemple $R_{20,50} = I_{50} - I_{20}$ (figure 1). La méthode de calcul de ce paramètre est décrit en détail dans l'essai C 1018 de l'ASTM.

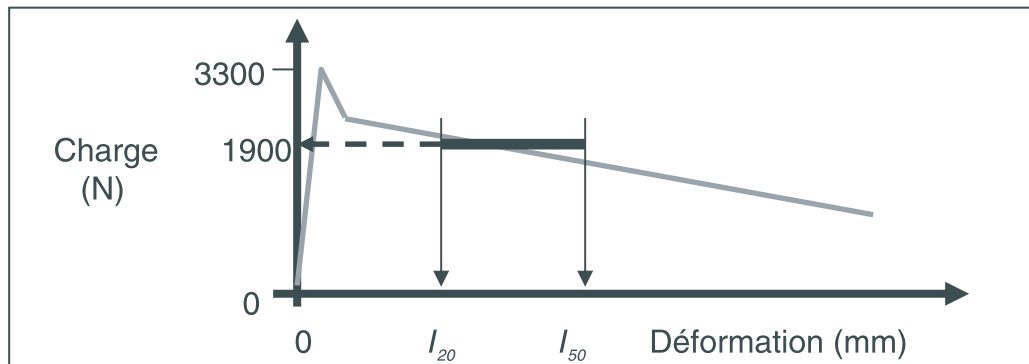


Figure 1 Courbe de déformation d'une charge (ASTM C1018)

Indice de ténacité (I_m) (Toughness Index)

Ratio de l'aire sous la courbe de la charge en fonction de la déformation sur l'aire de cette même courbe jusqu'à la déformation causée par la première fissure. La méthode de calcul de l'indice de ténacité est décrit en détail dans l'essai C 1018 de l'ASTM.

Macrofibres synthétiques

Les macrofibres sont généralement de diamètre supérieur à 0,4 mm ou 1000 deniers.

Microfibres synthétiques

Les microfibres sont généralement de diamètre inférieur à 0,4 mm ou 1000 deniers.

Module de rupture (MOR) (Modulus of Rupture)

Équivaut à la résistance ultime à la flexion.

Résistance à la fatigue (Fatigue Strength)

Généralement, signifie l'endurance d'un béton à la flexion. La résistance à la fatigue représente le nombre de cycles de charges et de relaxation qu'une structure de béton peut supporter avant d'atteindre la rupture. La limite de la résistance à la fatigue est habituellement déterminée par un essai non normalisé impliquant une poutre en flexion, tel que dans l'essai C 78 ou C 1018 de l'ASTM. La méthode consiste à appliquer une charge variant de 10 % à 50 % jusqu'à une valeur de 95 % de sa résistance ultime à la flexion (MOR).

Résistance résiduelle (Residual Strength)

Charge emmagasinée dans la poutre après la fissuration et qui se convertit en résistance grâce à la formule de résistance à la flexion. Généralement, une valeur résiduelle est associée à une déformation de la poutre. (Voir également la définition du facteur de résistance résiduelle).

Résistance résiduelle équivalente ($R_{e,i}$) (Equivalent Flexural Strength)

Paramètre déterminé par l'essai SF-4 du Japan Concrete Institute. La mise au point et les procédures d'essais sont identiques à l'ASTM C 1018. Par contre, l'essai japonais détermine la charge moyenne supportée pour une déformation entre 0 et 150.

Par exemple, pour une poutre de 150 mm x 150 mm x 500 mm, le point final est à $450/150 = 3$ mm. Dans ce cas, la résistance résiduelle équivalente est typiquement dénotée par :

$$\sigma = \text{charge de 0 à 3 mm} \times [I / (bh^2)]$$

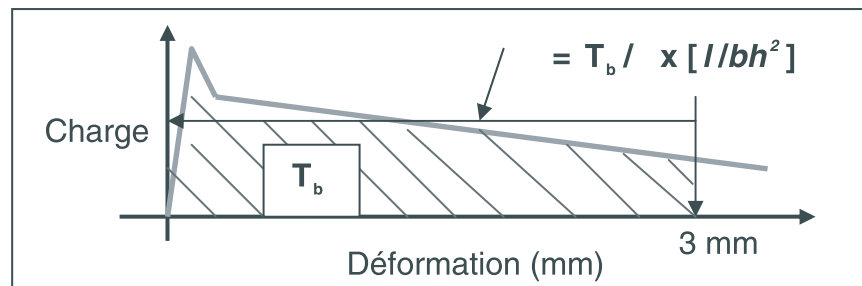


Figure 2 Méthode d'essai des paramètres pour la valeur de la résistance résiduelle (JCI SF-4).

Cette méthode d'essai provenant de la norme japonaise détermine aussi la ténacité pour l'intervalle de déformation entre 0 et 150. La ténacité (T_b) est démontrée par la partie hachurée sous la courbe de la charge en fonction de la déformation.

Résistance résiduelle moyenne (Average Residual Strength, ARS)

Valeur moyenne de la charge mesurée après la fissuration à quatre points de déflexion. Cette valeur se détermine par la méthode d'essai ASTM C1399. Cette méthode spécifie les quatre cibles de mesures de la déflexion comme étant à 0,5; 0,75; 1,0 et 1,25 mm convertis en résistance (figure 3).

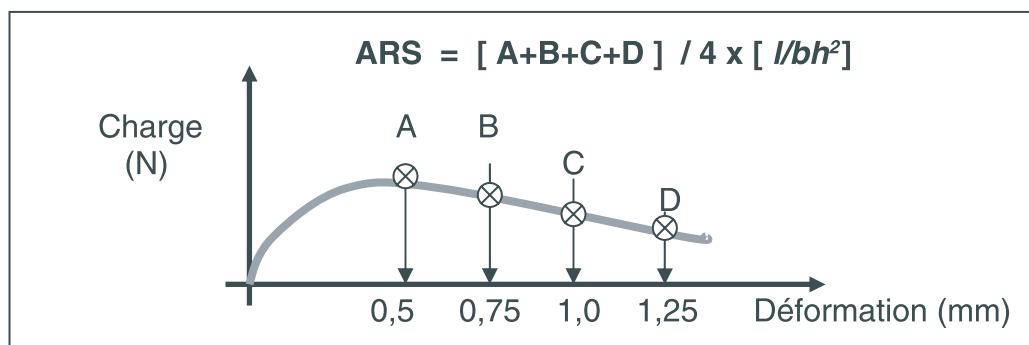


Figure 3 Charge - Courbe de déflexion (ASTM C 1399)

Résistance ultime à la flexion (Ultimate Flexural Strength)

Résistance au « fléchissement » du béton. Lorsqu'une poutre de béton est supportée à chaque extrémité et que la charge est appliquée au milieu de la poutre, la partie inférieure est soumise à une tension tandis que la partie supérieure est soumise à une compression.

Étant donné qu'il est très difficile de mesurer la résistance à la traction directe du béton, les essais de résistance au fléchissement ou à la flexion sont utilisés pour évaluer cette propriété. Le principal mode de rupture d'un béton fibré est en flexion, ce qui rend cette méthode d'évaluation très utile. Les essais de l'ASTM pour la méthode de résistance à la flexion sont C 293 et C 78. Pour le béton fibré, il faut se référer à l'ASTM C 1018, C 1399 ou JCI SF4 (figure 4).

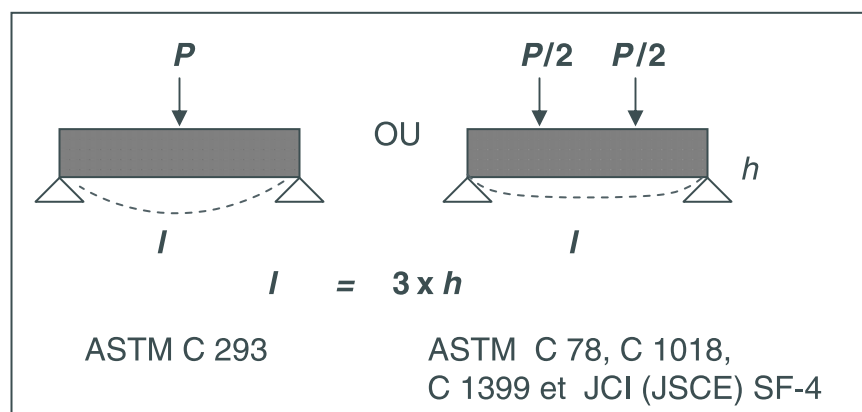


Figure 4 Essais normalisés de résistance à la flexion

La résistance à la flexion est calculée à partir de la charge maximale supportée par la poutre lors de l'essai. La résistance à la flexion est calculée à partir de la formule de base : $\sigma = Mc/I = M/S$. Pour un spécimen rectangulaire, la résistance à la flexion est égale à $P l / b h^2$ (P = charge, l = portée, b = largeur et h = hauteur de la poutre).

Ténacité (T_b) (Toughness)

Représente la capacité d'absorption d'énergie d'une poutre en flexion. La détermination de la ténacité s'effectue par l'aire de la courbe de la charge en fonction des points de déformations finaux spécifiques. (Voir la figure 4).

La nouvelle version 2004 de l'ASTM C 1018 élimine l'indice de ténacité et change le facteur de résistance résiduelle $R_{m,n}$ à une valeur de résistance résiduelle déterminée à des déformations de 600 (R_{600}) et de 150 (R_{150}).

Transfert de charge (Shear Load Transfer)

Propriété de transférer une charge à travers une fissure ou un joint. Cette propriété devient importante pour les applications de dalles sur sol ou de support de sol (pavés, planchers, etc.). Dans un béton fibré, le transfert de charge est amélioré de deux façons :

- par la capacité des fibres de maintenir les fissures plus serrées;
- par la propriété de certains types de fibres d'effectuer une partie du transfert de charge aux fissures et aux joints de contrôle.



8000 Décarie, bureau 420
Montréal (Québec) H4P 2S4
Tél.: (514) 731-0021
Télec.: (514) 731-5067

www.betonabq.org