

**Béton renforcé de fibres d'acier (BRF)
pour dallages industriels
y compris dallages sans joints et
dallages sur pieux**

Guide Pratique



ArcelorMittal

Béton renforcé de fibres d'acier (BRF) **pour dallages industriels** **y compris dallages sans joints et** **dallages sur pieux**

Guide Pratique

Le béton renforcé de fibres d'acier (BRF) offre de nombreux avantages en sols industriels:

1. Le BRF se distingue par sa résistance améliorée en flexion, effort tranchant et poinçonnement.
2. Le BRF ne pouvant pas supprimer le retrait, en assure cependant un contrôle grâce au contrôle de la fissuration et à la limitation du tuilage qu'il procure.
3. Le BRF se distingue encore par sa résistance à la fatigue, aux chocs et aux sollicitations dynamiques.
4. Le BRF permet une réalisation beaucoup plus rapide et simple donnant lieu à des réductions de coûts.

Ce guide pratique devrait toujours être suivi afin de s'assurer des meilleurs résultats depuis la conception jusqu'à l'installation d'un dallage en BRF.

Qu'est-ce donc le béton renforcé de fibres d'acier?

Le BRF est un béton dont le mortier inter-granulaire, source de toutes les fissures, est contrôlé par les fibres d'acier. Pour un béton dont les granulats sont plus petits que 20 mm, la distance entre deux fibres voisines devrait être maintenue entre 18 et 20 mm pour réaliser une dalle sans joints de retrait (TAB-Floor) ou une dalle-plancher sur pieux (TAB-Structural), respectivement entre 22 to 24 mm pour des dalles avec joints de retrait (TAB-Fibre).

Lorsque la distance entre deux fibres est plus petite que 18 mm, l'ouvrabilité est affectée et le béton devient plus difficile à pomper. La formule de béton doit alors être adaptée.

En vue de contrôler le retrait du béton, un dosage de fibres d'acier de minimum 25kg/m³ est nécessaire. Des dosages de fibres inférieurs à cette valeur ne suffiront pas à obtenir un contrôle du retrait.

Pour les dalles sans joints de retrait (TAB-Floor) un dosage minimum de 40 kg/m³ est nécessaire en utilisant des fibres de 1mm de diamètre. Pour les dalles-plancher sur pieux, le dosage minimum est de 45kg/m³ (TAB-Structural) de fibres TABIX+ 1/60.

Exemple

La distance moyenne entre deux fibres voisines S s'écrit :

$$S = 122 \times D / \sqrt{V} \quad (\text{mm})$$

avec D = diamètre de fibre (mm) et V = dosage en fibres (kg/m³), donnant ainsi:

- 40kg/m³ de TABIX 1/50 → $S = 122 \times 1 / \sqrt{40} = 19.3\text{mm}$
- 45kg/m³ de TABIX +1/60+ → $S = 122 \times 1 / \sqrt{45} = 18.2\text{mm}$

Les fibres d'acier se comportent comme des petites barres d'armature. La fibre doit donc être munie d'un dispositif d'ancrage au béton telles que sont les ondulations d'une TABIX, les crochets d'extrémité d'une HE ou encore les cônes d'extrémité de la Twincone. Une section de fibre ronde offre un module de rigidité bien supérieur à ceux des sections plates rectangulaires ou en demi-lune. Cet avantage de rigidité confère donc aux fibres à section ronde une augmentation de l'ancrage de la fibre dans le mortier du béton.

Le diamètre de la fibre influence aussi l'ancrage. Une fibre de 1 mm de diamètre se rompt en traction pour un effort de 780 N à comparer à seulement 500 N pour un diamètre de 0.8 mm. L'ancrage d'une fibre de 1 mm est donc meilleur. Les fibres plus fines sont aussi plus difficiles à utiliser parce qu'elles tendent à réduire l'ouvrabilité du béton, à rendre le pompage du béton plus difficile de même que la finition de surface avec davantage de fibres visibles.

La longueur de la fibre d'acier est généralement comprise entre 45 et 60 mm afin de ponter le mortier, source de toutes les fissures, entre deux granulats. La résistance du fil d'acier constitutif de la fibre doit être au moins de 900 N/mm² en traction.

Une fibre d'acier efficace et de bonne mise en œuvre doit être rigide, ne pouvant se plier facilement sous la pression du pouce entre l'index et le majeur. Une fibre rigide de 1 mm de diamètre a beaucoup moins tendance à dépasser de la dalle finie parce qu'elle ne se plie pas, mais est repoussée vers le fond par les outils de finition. Les fibres rigides se voient aussi moins dans les arêtes de joints sciés et diminuent moins le slump (affaissement au cône d'Abrams). Elles réduisent par conséquent le risque d'augmenter le retrait par ajouts d'eau et de superplastifiant.

Formulation du béton armé de fibres d'acier

La formulation doit toujours viser à réduire le retrait, sans pour autant rendre le temps de prise trop court et créer le ressuage en surface. Ces conditions requièrent une attention particulière pour les dosages plus élevés de fibres d'acier ou pour les fibres de plus petit diamètre.

La formulation précise du béton de fibres d'acier dépend toujours de la nature réelle des matériaux constitutifs du béton et doit en tout cas suivre les recommandations données par ARCELOR concernant notamment la courbe granulométrique, le rapport E/C, le superplastifiant... La teneur en ciment est comprise entre 300 et 350 kg/m³ des types CEM I, CEM III or CEM II/A et conformément au paragraphe 4 dans l'Avis Technique.

L'affaissement du béton au cône d'Abrams avant introduction de superplastifiant et des fibres doit être de 50 mm.

Introduction des fibres dans le béton

Les fibres d'acier peuvent être ajoutées dans la toupie de béton frais sur chantier ou dans le malaxeur stationnaire à la centrale à béton.

Certaines centrales à béton disposent d'un système d'intégration automatique des fibres dans la toupie de béton ou dans le malaxeur central. Sans ces dispositifs automatiques, on utilise des tapis roulants de maçon ou des machines soufflantes comme sur chantier.

Avec un tapis roulant, les fibres tombent en petits paquets à l'entrée de la toupie dans la goulotte et doivent voyager au travers du béton sous l'action de la rotation de la toupie.

Les machines soufflantes ARCELOR ont l'avantage de souffler à grande vitesse les fibres complètement séparées sur toute la surface du béton frais jusqu'au fond de la toupie, permettant ainsi une meilleure distribution et ainsi que des temps d'intégration réduits.

Des boules de fibres encore appelées « hérissons » ou « oursins » peuvent se former à sec ou humides dans le béton.

- 1) Les boules sèches, constituées de masses de fibres entourées d'un manteau de mortier, surviennent lorsque les fibres sont jetées en paquets dans la toupie. Dans ce cas les fibres n'ont pas été séparées et ont été emprisonnées dans une croûte de mortier.
- 2) Les boules humides, constituées d'un mélange très dense de fibres et de cailloux avec mortier, surviennent lorsque les fibres ont pu être séparées, mais ont été mélangées trop longtemps. Ce phénomène survient aussi lorsque les fibres sont trop fines ou que le dosage est trop élevé pour le type de béton mis en oeuvre.

Les machines soufflantes et les tapis roulants doivent toujours avoir été installés prêts au fonctionnement (avec vérification à vide) avant l'arrivée sur chantier du premier camion toupie.

Quelques conditions à suivre pour l'introduction des fibres en camion toupie:

- Ajouter des fibres au béton réduit l'affaissement au cône d'Abrams. Il faut donc ajouter du superplastifiant en quantité suffisante tenant compte de cette perte de slump et de l'ouvrabilité nécessaire pour l'installation du béton. La quantité de superplastifiant nécessaire dépend aussi du type de fibre utilisé et du dosage prévu.

- Avec des fibres de 1 mm de diamètre et 50 mm de longueur, le tableau suivant donne une indication de la perte de slump pour différents dosages.

Dosage fibres (kg/m ³)	25	30	35	40	45
Perte de Slump (mm)	25	35	50	60	75

- Les fibres seront introduites à raison de 30-40 kg par minute.
- Avec tapis roulant, les fibres doivent être réparties et non simplement versées en tas et ceci pour diminuer la formation de boules de fibres.
- La toupie est mise à la vitesse maximale de rotation, c'est-à-dire de 12 à 15 rotations par minute.
- Chaque camion toupie doit mélanger à pleine vitesse pendant 8 – 12 minutes après l'introduction des fibres.
- Avant l'intégration des fibres dans chaque toupie, toutes les boîtes de fibres nécessaires dans cette toupie doivent avoir été comptées et rangées séparément afin qu'il n'y ait pas d'erreur de dosage.
- L'intégration des fibres dans le camion toupie est réalisée par un ou deux hommes préalablement formés et suivant une procédure convenue également.

Pour une cadence de fourniture de 4 camion toupie par heure, un homme préalablement formé pourra intégrer environ 6000 kg de fibres par période de 8 heures.

Avec une équipe de deux hommes, permettant une meilleure continuité entre les camions toupie qui se succèdent, de même que permettant aussi le remplissage des fiches techniques d'autocontrôle, 12 à 14 tonnes de fibres par journée de 8 heures sont possibles.

Installation d'une dalle renforcée de fibres d'acier

1) Préalablement au début du chantier, l'entrepreneur devrait toujours vérifier:

- Qui est responsable de la conception de la dalle?
- Les spécifications de la dalle avec au moins un résumé des conditions de sol, l'intensité et les types de charges, les tolérances de surface, le type de dalle et le type de construction ainsi que le type et l'emplacement des joints.
- Les notes de calculs finales mentionnant l'épaisseur de la dalle, le type de fibre d'acier et le dosage (kg/m³) à utiliser, l'espacement des joints et leur type. Comme joints de construction, les types Alpha, Omega ou Delta sont toujours

préférés aux goujons qui, mal placés ou placés non parallèlement, empêchent la contraction libre de retrait et favorisent la fissuration qui en résulte.

- Les derniers plans approuvés pour construction incluant tous les détails constructifs (renforcements locaux,...).

2) Au démarrage du chantier, l'entrepreneur doit vérifier les points suivants:

- La fondation du dallage ou forme doit avoir un k minimum de 0.03 N/mm^3 .
- La fondation ne peut y avoir de points faibles ou durs. Les ornières sous trafic de chantier ne sont pas tolérées. Il doit y avoir les appareils de compaction mécaniques nécessaires pour corriger localement la forme.
- La fondation doit avoir été humidifiée mais sans eau visible en flaques.
- Seulement si nécessaire pour d'autres motifs, une feuille de polyane peut être placée sous la dalle. Le cas échéant, il est recommandé d'utiliser une polyane perforée.
- Tous les obstacles au mouvement de retrait libre doivent avoir été enlevés ou traités car ils favorisent la fissuration.
- L'installation de tous les détails constructifs doit être terminée avant le début de la pose du béton : Détails des entreportés, joints de construction, chambres de visite, quais de chargement et barres d'acier complémentaires.
- En cas de construction sans joint de retrait (pas de joints sciés) la surface entre joints de construction atteint au maximum 2500 m^2 avec un rapport (longueur / largeur) $L/B < 1,5$
- Les tolérances d'épaisseur de la dalle doivent être suivies.
- Le bâtiment contenant la dalle doit être fermé pour que la dalle soit à l'intérieur et non exposée aux courants d'air. Les courants d'air augmentent le retrait, créent la fissuration et le faïençage de la surface.

3) Coulage du béton de fibres d'acier.

- Le béton doit être frais et préparé depuis moins de 60 min avec une température de moins de 25°C au déchargement..
- Le béton doit être fourni de façon continue et avec une cadence constante.
- Les retards doivent être évités et s'il y en a, ils doivent être contrôlés soigneusement et notifiés sur les fiches d'auto-contrôle.

- L'affaissement au cône d'Abrams est avec une tolérance de ± 25 mm par rapport au niveau spécifié.
- Si un affaissement plus élevé était nécessaire, en cas de pompage par exemple, il faut utiliser un supplément de superplastifiant. L'ajout d'eau sur chantier est strictement interdit.
- En cas de pompage, le diamètre minimum de piston sans striction ultérieure dans les tuyaux, est de 125 mm. L'installation de la pompe en ordre de marche, après amorçage à la laitance ou résine, devra être terminée avant l'arrivée du premier camion toupie.

4) Finition du béton renforcé de fibres.

- Après avoir mis le béton au niveau, l'emploi du Bull-Float* ou Skip-float* est indispensable pour améliorer la surface et repousser les fibres vers le bas. *(outil plat de env.250mm x 2500mm en aluminium monté sur un manche flexible assez long, même jusqu'à 6 ou 8m).
- Toutes les arêtes doivent être finies à la main et terminées en premier lieu parce qu'elles ont tendance à durcir plus vite.
- Un produit de cure doit être appliqué aussi tôt que possible après que le polissage ait été terminé. L'application du produit de cure est d'autant plus important s'il s'agit d'un dallage sans joints respectivement d'un dallage bétonné par temps chaud.
- Si des joint de retrait sciés sont demandés, il faut les exécuter ni trop tôt pour éviter les ébréchures avec fibres visibles et ni trop tard pour qu'ils puissent contrôler la fissuration. Le durcissement de chaque dalle est différent et dépend des conditions ambiantes, du type de ciment et de la composition de béton.

Essais sur site et observations à consigner.

Il est fortement recommandé de faire les enregistrements suivants durant l'exécution du chantier :

- Une description générale des conditions de chantiers , de la fondation et de la préparation des détails constructifs, avant et pendant l'installation.
- Les conditions météorologiques.
- Détail du nombre d'hommes et machines pour placer et finir le béton. L'heure de début et de fin du bétonnage.
- L'heure de début et de fin du talochage et de polissage du béton, de même que l'heure de début et de fin de la cure ainsi que le taux d'application de la cure.

- La cadence et les heures de fournitures du béton doivent être relevés et consignés pendant toute l'installation. Ceci peut être noté sur chaque bon de livraison et séparément aussi.
- Pendant le coulage du béton, les interruptions doivent être relevées et consignées.

Les essais suivants doivent être entrepris pendant l'installation du béton :

- Essais d'affaissement au cône d'Abrams pendant le coulage et suivant les spécifications de l'Avis Technique. Ces essais doivent mentionner le numéro d'identification de la fourniture de béton ainsi que l'heure de fabrication, l'heure de livraison et l'heure de l'essai.
- Le dosage en fibres est contrôlé au moyen de trois échantillons dans une toupie, prélevé au premier $\frac{1}{4}$, au milieu et au dernier $\frac{1}{4}$ de la charge pendant le déchargement. Chaque échantillon est de 10 litres. Chaque échantillon est délavé pour séparer le ciment et les fines, les fibres étant collectées par un aimant permanent avant d'être séchées et pesées. Avec le volume de 10 litre de l'échantillon, il suffit de multiplier par 100 le poids de fibre mesuré pour obtenir le dosage en kg/m^3 . Les écarts permis et la fréquence des essais sont indiqués dans l'Avis Technique. Afin d'accélérer la procédure on peut également utiliser un dosimètre Arcelor qui permet de retirer les fibres directement et de façon fiable du béton frais, sans délavage.
- Les conditions de la forme en ce compris les niveaux, le coefficient de Westergaard et la compaction.
- La masse volumique du béton doit atteindre au moins un minimum de 23.5 kN/m^3 . Rappelons que plus léger est le béton, plus élevé est son rapport E/C et que plus important sera le retrait. Un béton plus compact et donc plus dense produira moins de retrait.

Le retrait du béton

Les fibres d'acier n'éliminent pas le retrait mais aident à le contrôler, si les recommandations de ce document sont suivies. Le retrait du béton est aussi fonction de la nature, de la forme et de la dimension de ses constituants, de leurs proportions dans le mélange, de la quantité d'eau, de l'évaporation à cause du milieu ambiant, sans oublier de la chaleur d'hydratation du ciment pendant les 12 et 24 premières heures.

Tous les bétons font du retrait qui est inévitable. Si le retrait ne peut être accepté, alors l'emploi du béton ne convient pas. Le retrait contrarié cause la fissuration.

Types de retrait

- **Retrait thermique.**

Il est provoqué par une haute température initiale du béton et accentué par la chaleur d'hydratation libérée durant les premières heures. L'augmentation de température est suivie d'un refroidissement qui contracte le béton. Ce phénomène cause la fissuration au jeune âge du béton, ce qui n'est pas contrôlable par le renforcement du béton quelque soit sa nature.

Solution: Surveiller et contrôler les variations de température au chantier et éliminer toutes les sources de blocage de la dalle.

- **Retrait Plastique.**

Il est provoqué par une perte de vapeur d'eau de la surface quand le béton n'est pas encore dur. Le retrait plastique provoque beaucoup de fissures assez ouvertes et courtes allant parfois jusqu'à donner l'aspect d'un marécage séché.

Solution: Protéger le béton frais de l'évaporation précoce, donc des courants d'air, du vent et du soleil.

- **Retrait Hydraulique.**

Il est provoqué par la perte d'eau du béton durci. Il cause des fissures se développant à long terme depuis quelques jours jusqu'à plusieurs années. Ces fissures peuvent s'ouvrir de façon importante dans le temps.

Solution: Veiller à curer très soigneusement la dalle suivant les règles de l'art et suivant les recommandations du fabricant de produit de cure.

Utiliser plus de 30 kg/m³ de concentration de fibres d'acier

Tuilage de la dalle

Le tuilage au droit des joints est causé aussi par le retrait hydraulique et les variations de température de la dalle. Une dalle plus épaisse tuilera moins vite qu'une dalle moins épaisse, toutes les autres conditions demeurant égales. Les joints de retrait sciés sont sujets au tuilage qui prive la dalle de support dans le temps. Dans des endroits fortement chargés en particulier par un trafic intense de charges roulantes, les joints sciés peuvent augmenter dans le temps le risque de tuilage et de fissuration.

Le tuilage des joints sciés peut être contrôlé partiellement lorsque l'on emploie au moins 30 kg/m³ de fibres d'acier, tout en maintenant la distance entre joints sciés inférieure à 6 m et une profondeur de sciage inférieure à 25% de l'épaisseur. Il est souvent préférable d'admettre quelques fissures qui peuvent toujours être réparées, que de devoir utiliser une dalle avec tuilage impossible à réparer.

Fissuration des dalles

Les sols industriels doivent être aptes à leur usage et être fonctionnels. Ils n'ont aucune obligation ou fonction esthétique. Les fissures qui n'ont aucun caractère

structurel et qui ne se dégradent pas, doivent être laissées telles quelles sans aucune réparation.

Les fissures de plus de 0,8 mm d'ouverture en surface, soumises au trafic roulant seulement, doivent être obturées par injection de résine. De même les fissures ayant une ouverture entre 0,5 et 0,8 mm sont à obturer au cas où on constate une dégradation dans le temps sous trafic roulant.

TAB-Floor (sols industriels en béton renforcé de fibres d'acier sans joints de retrait) et TAB-Structural (dallage TAB-Floor reposant sur des pieux) ont été conçus pour tenir compte au mieux des problématiques du retrait, de la fissuration, des joints sciés et du tuilage de tous les sols industriels en béton. Les spécifications TAB-Floor et TAB-Structural donnent toutes les indications nécessaires au dimensionnement et à la réalisation de ces ouvrages. Ce document-ci est à considérer comme addendum à ces spécifications.

Résumé des désordres possibles et de leurs causes

Problème: Le béton n'est pas pompable

- Formulation incorrecte du béton. La quantité de fines plus petites que 200 microns est inférieure à 450 kg/m³.
- Ségrégation du béton pendant le transport jusqu'au chantier
- Réduction du diamètre des tuyaux de pompage à moins de 125 mm
- Variations du temps de prise du béton
- Variations de l'affaissement au cône d'Abrams à l'arrivée du béton au chantier
- Surdosage de superplastifiant
- Variation de la durée de transport vers le chantier

Problème: Formation d'un joint non désiré pendant le coulage

- Prise trop rapide du béton
- Panne de la centrale à béton ou de la pompe respectivement interruption du bétonnage
- Mauvaise organisation du chantier, mauvaise progression du front de pose du béton et main d'oeuvre non professionnelle
- Trop grande surface à couler, main d'oeuvre insuffisante

Problème: Cassures des arêtes

- Main d'oeuvre insuffisante ou inexpérimentée, incapable de réaliser le travail manuel
- Mauvaise formulation de béton

Problème: Fissures dues au tassement

- Mauvaise forme et fondation insuffisante
- Sol saturé d'eau
- Faible portance et valeur K insuffisante
- Mauvaise compaction

- Gonflement du sol

Problème: Fissuration de surcharge durant le chantier

- Dalle utilisée comme stockage de chantier.
- Installation trop précoce des étagères de stockage.

Problème: Délamination (la couche d'usure se décolle en plaques)

- Eau de ressuage enfermée au polissage et mauvais emploi du superplastifiant
- Teneur excessive en air du béton
- Finition incorrecte de la dalle car trop précoce

Problème: Rupture des joints

- Type incorrect de joint sans dispositif de transfert de charge
- Distance excessive entre joints sciés
- Chargement des bords
- Mauvaise finition manuelle des arêtes
- Absence de remplissage des joints
- Circulation de roues dures

Problème: Faïençage

- Excès de polissage en surface
- Saupoudrage de ciment en surface pour assécher le béton frais
- Séchage de la surface avant durcissement du béton
- Choc thermique ou mouillage et séchage à l'âge jeune
- Mauvaise cure du béton

Problème: Poussiérage en surface

- Présence excessive d'eau de ressuage
- Mauvaise formulation du béton
- Durcissement trop lent
- Gaz d'échappement des engins

Problème: Fibres d'acier visibles

- Talochage mécanique commencé trop tôt, ramenant les fibres en surface du béton frais
- Granulats trop gros comparés à la distance S entre deux fibres voisines
- Fibres trop longues et trop flexibles
- Mauvaise formulation du béton

Pour plus d'informations, veuillez nous contacter:

ArcelorMittal Bissen S.A.
Steel Fibre Profit Centre / Support – R&D
Tel. +352-835772-1
Fax +352-835772-209
Email fibresupport@arcelormittal.com

Personnes de contact: René Pepin / Dirk van Cauteren / Roger Leinen