

Juillet 2020

Les Bétons Fibrés à Ultra hautes performances (BFUP) se caractérisent par une résistance à la compression élevée, supérieure à 130 MPa, par une résistance en traction post-fissuration importante permettant d'obtenir un comportement ductile.

Généralités

La non-fragilité des BFUP obtenue par l'emploi de fibres à fort dosage, permet de dimensionner et réaliser des structures ou des éléments de structure sans utiliser d'armatures de béton armé.

Nota : Pour certaines structures, le BFUP peut contenir des armatures de béton armé ou des armatures de précontrainte.

Le fort dosage en liant des BFUP et le très faible rapport Eau/Liant (inférieur à 0,25) réduit leur porosité capillaire. Les BFUP sont de ce fait particulièrement durables vis-à-vis de la carbonatation, de la pénétration des chlorures et des attaques du gel ou des agressions chimiques.

Nota : Le choix d'un BFUP adapté à une structure se fait selon des critères de performances mécaniques, d'ouvrabilité et de durabilité.

Les BFUP font l'objet de la norme NF P 18-470 : « Bétons Fibrés à Ultra-hautes Performances (BFUP) : Spécifications, performances, production et conformité »

La norme spécifie les exigences relatives :

- aux constituants du BFUP
- aux pré-mélanges de constituants
- aux BFUP frais et durcis et à la vérification de leurs propriétés
- à la composition du BFUP
- à la spécification du BFUP
- à la livraison, à la mise en place et à la cure du BFUP frais
- au traitement thermique nécessaire à l'obtention des performances
- aux épreuves d'études
- à la carte d'identité du BFUP
- aux essais de convenance
- aux procédures de contrôle de production
- aux critères de conformité et à l'évaluation de la conformité du BFUP.

Domaines d'application des BFUP

Les BFUP couverts par la norme NF P 18-470 sont destinés :

- aux structures et éléments de structures préfabriqués ;
- aux structures et éléments de structures coulés en place ;
- aux parties d'ouvrages rapportées par coulage en place, en particulier dans le cas de réparations, de revêtements ou de connexions ;
- pour les bâtiments et les structures de Génie Civil.

La norme s'applique aussi aux éléments non-structuraux ou architectoniques préfabriqués ou coulés en place.

Les BFUP couverts par cette norme sont fabriqués et mis en œuvre conformément à la norme NF P 18-451.

Ils peuvent être fabriqués sur chantier ou dans une centrale à béton prêt à l'emploi ou dans une usine de produits préfabriqués.

Classification des BFUP

Les BFUP peuvent être classés selon différents critères liés à leurs performances mécaniques ou de durabilité. Les paragraphes ci-après détaillent chacune de ces classifications.

Classes associées aux types de fibres

Les BFUP peuvent être classés selon la nature des fibres qu'ils contiennent:

Les **BFUP de Type M** (Métalliques : acier, inox) lorsqu'il s'agit de fibres métalliques ;
Les **BFUP de Type A** (Autres : PVA, verre, polypropylène...) lorsqu'il s'agit d'autres fibres, en particulier des fibres organiques.

Nota : Seuls les BFUP de Type M sont couverts par la norme de dimensionnement des BFUP : NF P 18-710.

Classes d'exposition

Les actions dues à l'environnement sont réparties par classes d'exposition (cf. Tableau 1 de la norme NF EN 206/CN).

Les classes d'exposition définies conformément à la norme NF EN 206/CN pour chaque partie d'ouvrage en BFUP et la Durée d'Utilisation de Projet (DUP) imposent des propriétés de durabilité des BFUP qui sont présentées dans le paragraphe « exigences liées aux classes d'exposition ».

Ces propriétés possèdent des seuils de base et des seuils de durabilité améliorée.

Classes de résistance aux transferts

Les BFUP doivent satisfaire aux trois seuils de base suivants :

- La porosité à l'eau à 90 jours doit être : Inférieure ou égale à 9% (Norme NF P 18-549) ;
- Le coefficient de diffusion des ions chlorures à 90 jours doit être : Inférieur ou égal à 0,5.10-12m²/s (Norme XP P 18-462 et NF P 18-470 Annexe A (A.1)) ;
- La perméabilité apparente aux gaz à 90 jours doit être : Inférieure ou égale à 9.10-19 m² (Norme XP P 18-463 et NF P 18-470 Annexe A (A.2.2)).

Nota : Bien que dites «de base», ces valeurs positionnent les BFUP dans la gamme des matériaux cimentaires à durabilité potentielle très élevée pour les classes d'exposition XC, XS, XD et XF.

D'autres seuils ont été définis afin de caractériser des BFUP offrant des performances supérieures selon les trois critères précédents. Ces propriétés de durabilité potentielle améliorée sont requises pour répondre à des environnements particuliers.

Un BFUP peut alors appartenir à l'une ou plusieurs des classes suivantes :

Dp+ : Si la porosité à l'eau à 90 jours est inférieure ou égale à 6% ;

Dc+ : Si le coefficient de diffusion des chlorures à 90 jours est inférieur ou égal à 0,1.10-12m²/s ;

Dg+ : Si la perméabilité apparente aux gaz à 90 jours est inférieure ou égale à 1.10-19 m².

Classes de consistance

La norme définit 3 classes de consistance spécifique aux BFUP.

Ca : BFUP susceptible d'être autoplaçant, c'est-à-dire généralement susceptible d'être mis en place sans vibration, ni aide mécanique à l'écoulement ;
Cv : BFUP visqueux, c'est-à-dire généralement susceptible d'être mis en place sans vibration mais qui nécessite une aide mécanique à l'écoulement ;
Ct : BFUP à seuil, c'est-à-dire généralement susceptible de s'écouler sous l'effet d'un cisaillement dynamique mais dont la surface libre au repos est susceptible de tenir une pente (thixotrope).

Nota : En fonction des besoins du projet, la consistance peut être prescrite par des valeurs cibles d'étalement et une durée d'ouvrabilité.

Classes fonction de la dimension des granulats

Lorsque le BFUP est classé selon la dimension maximale des granulats, la classification doit se faire à partir de la dimension nominale supérieure du plus gros granulat présent dans le BFUP (Dsup) conformément à la norme

Classes de traitement thermique

Le BFUP est classé selon le traitement thermique qui lui est appliqué.

- STT : Sans Traitement Thermique ;
- TT1 : Éléments BFUP sur lesquels est appliqué un étuvage qui vise à accélérer le début de prise ;
- TT2 : Éléments BFUP subissant un traitement thermique à température élevée quelques heures après la prise ;
- TT1+2 : Éléments BFUP sur lesquels sont appliqués les traitements thermiques 1 et 2 de manière successive.

Classes de résistance à la compression

Le BFUP est classé en 6 classes de résistance mécanique en fonction de sa résistance en compression par référence à sa **résistance caractéristique** à 28 jours f_{ck-cyl} mesurée sur cylindres de dimensions nominales 110 mm/220 mm.

	Résistance caractéristique minimale sur cylindres	Résumé
	f_{ck-cyl} [MPa]	
	130	
	150	
	175	
	200	
	225	
	250	

Classes de masse volumique

Les BFUP présentent une masse volumique comprise entre 2200 et 2800 kg/m3.

Classes de comportement en traction

Les BFUP doivent satisfaire au minima ces deux conditions :

- Avoir une valeur caractéristique de la limite d'élasticité en traction à 28 jours $f_{ct,el}$ supérieure à 6,0 MPa.
- Avoir un comportement suffisamment écrouissant en flexion et vérifier l'inégalité suivante :

$$\frac{1}{w_{0,3}} \int_0^{w_{lim}} \frac{\sigma(w)}{1,25} dw \geq \max(0,4 f_{ctm,el}; 3MPa)$$

Où :

- $w_{0,3} = 0,3$ mm
- $f_{ctm,el}$ est la valeur moyenne de la limite d'élasticité en traction, en MPa
- $s(w)$ est la **contrainte** caractéristique post-fissuration en fonction de l'ouverture de fissure w , en MPa.

Une classe de comportement en traction du BFUP doit être prescrite selon les besoins du projet :

- Le BFUP est de classe T1 (adoucissant en traction directe) lorsque $f_{ctf/1,25} < f_{ct,el}$ aussi bien pour la courbe moyenne que pour la courbe caractéristique, soit :
 $f_{ctfm/1,25} < f_{ctm,el}$ et $f_{ctfk/1,25} < f_{ctk,el}$;
- Le BFUP est de classe T2 (peu écrouissant) lorsque $f_{ctf/1,25} \geq f_{ct,el}$ pour la courbe moyenne et que $f_{ctf/1,25} < f_{ct,el}$ pour la courbe caractéristique, soit :
 $f_{ctfm/1,25} = f_{ctm,el}$ et $f_{ctfk/1,25} < f_{ctk,el}$;
- Le BFUP est de classe T3 (très écrouissant) lorsque $f_{ctf/1,25} \geq f_{ct,el}$ aussi bien pour la courbe moyenne que pour la courbe caractéristique, soit :
 $f_{ctfm/1,25} = f_{ctm,el}$ et $f_{ctfk/1,25} \geq f_{ctk,el}$.

Nota : La **norme** détaille l'obtention de ces classes de comportement.

Classes liées à l'abrasion hydrauliques

Certains ouvrages en **béton** peuvent être exposés à une abrasion plus ou moins importante. Elle peut être mécanique ou hydraulique.

L'exposition à l'abrasion mécanique est définie dans l'Eurocode 2-1-1 Partie 4.4.1.2 par trois classes XM1, XM2, et XM3.

L'exposition à l'abrasion hydraulique, est définie selon les 3 mêmes classes mais est laissée à l'appréciation du prescripteur par la norme NF P 18-710 en fonction du niveau d'agressivité de la houle, des courants, des fluides circulant dans ou autour de l'ouvrage, des frottements et de la présence de sédiments ou de matériaux abrasifs en suspension.

Pour répondre à ces classes XM, les BFUP spécifiés doivent rentrer dans différentes classes de résistance à l'abrasion hydraulique :

- Classe RM1 :
 $1 \leq$ Indice d'abrasion $< 1,5$: matériau résistant à l'abrasion hydraulique ;
- Classe RM2 :
 $0,7 \leq$ Indice d'abrasion < 1 : matériau très résistant à l'abrasion hydraulique ;
- Classe RM3 :
 Indice d'abrasion $< 0,7$: matériau ultra-résistant à l'abrasion hydraulique.

Désignation des BFUP

Les BFUP de type M dont la **résistance caractéristique** à la **compression** est au moins de 150 MPa sont désignés : BFUP-S.

Les BFUP de type M dont la résistance à la compression est supérieure à 130 MPa et inférieure à 150 MPa sont désignés BFUP-Z.

Les BFUP-S sont réputés utilisables pour le calcul des ouvrages, des produits préfabriqués et composants préfabriqués des ouvrages selon la norme NF P 18-710.

Carte d'identité des BFUP

La carte d'identité du BFUP est un document associé à une composition nominale de BFUP, à son principe de fabrication et aux traitements pouvant suivre sa mise en œuvre, indiquant l'ensemble des caractéristiques du matériau sur lesquelles le producteur s'engage, en termes de performances atteintes par le BFUP lorsque les dispositions données dans la carte d'identité sont rigoureusement appliquées.

La carte d'identité du BFUP doit préciser :

- La conformité à la norme NF P 18-470 ;
- La formule nominale du BFUP : désignation, proportion, tolérances, Dsup ;
- Les principes généraux du processus de **malaxage** ;
- L'application d'un traitement thermique et description de ce traitement lorsque ce dernier influence les propriétés à l'état durci.

Elle doit comprendre au minimum les exigences suivantes :

- La **consistance** et la durée pratique d'utilisation ;
- La **résistance** caractéristique en compression à 28 jours
- La **contrainte maximale** et les valeurs décrivant le comportement caractéristique en traction
- Le module d'Young ;
- La **masse volumique** ;
- La **teneur en air** ;
- La **porosité** à l'eau, mesurée à 90 jours ;
- Le **coefficient de diffusion apparent** des ions chlorure ;
- La **perméabilité aux gaz** ;
- Le **coefficient de dilatation thermique** ;
- L'amplitude du **retrait total**.

La carte d'identité d'un BFUP peut comprendre des propriétés complémentaires :

- Les caractéristiques liées au retrait et au **fluage** ;
- La classe correspondant à la réaction au feu ;
- La résistance à l'abrasion ;
- La résistance moyenne à la compression ;
- La contrainte maximale moyenne post-fissuration.

Exigences relatives aux constituants

Ciments

Le ciment doit être conforme à la norme NF EN 197-1.

L'aptitude à l'emploi pour la **formulation** de BFUP est établi pour les ciments de type CEM I 52,5 ou CEM II / A 52,5.

Selon le type d'agressions ou d'attaques le ciment doit être conforme aux normes NF P 15-317 et NF P 15-319 et au fascicule de documentation FD P 18-011.

Granulats

Les granulats doivent être conformes aux normes NF EN 12620+A1 et NF P 18-545 (caractéristiques des granulats indicés A et coefficient d'absorption d'eau inférieure ou égale à 2,5%).

Adjuvants

Les adjuvants doivent être conformes à la norme NF EN 934-2+A1.

Fibres

Les fibres contribuant à la non fragilité du BFUP doivent être conformes :

- à la norme NF EN 14889-1 (fibres d'acier) pour les BFUP de type M
- à la norme NF EN 14889-2 (fibres polymères) pour les BFUP de type A

Les fibres polypropylène conforme à la norme NF EN 14889-2 sont réputées aptes à l'emploi pour prévenir le risque d'écaillage des BFUP de type M ou A en cas d'incendie.

Exigences liées aux classes d'exposition

Le tableau ci-dessous récapitule les exigences performantielles qui s'appliquent aux BFUP pour assurer la durabilité des ouvrages en fonction de leur durée d'utilisation (50, 100 ou 150 ans) et les classes d'exposition auxquelles ils sont soumis.

	150 ans	Dp+ / Dc+	
XS1 XS2 XS3	50 ans	-	Respect des seuils de base (BFUP)
	100 ans	-	
	150 ans	Dp+ / Dc+ / Dg+	
XF1 XF3	50 ans	-	Respect des seuils de base (BFUP)
	100 ans	-	
	150 ans	-	
XS3 XS3	50 ans	-	Respect des seuils de base (BFUP)
	100 ans	Dp+ / Dc+	
	150 ans	Dp+ / Dc+ / Dg+	
XF4	50 ans	-	Respect des seuils de base (BFUP)
	100 ans	Dp+ / Dc+ / Dg+	
	150 ans	Dp+ / Dc+ / Dg+	
XA1	50 ans	-	Respect des seuils de base (BFUP)
	100 ans	-	
	150 ans	Dp+ / Dc+ / Dg+	

Tableau synthétique des propriétés de durabilité à prescrire en fonction des classes d'exposition et de la durée d'utilisation du projet (DUP).

(1) Pour des environnements présentant des risques d'agression chimique, des dispositions particulières doivent être vérifiées concernant le choix du **ciment**. (NFP 18-470 Partie 5.2.1)

Signification des BFUP

Le prescripteur du BFUP doit s'assurer que toutes les exigences pertinentes relatives aux propriétés requises du BFUP sont incluses dans la spécification donnée au producteur.

Il doit également spécifier toutes les exigences relatives aux propriétés du BFUP qui sont nécessaires à son transport (avant et après livraison), à sa mise en place, ou à tout autre traitement ultérieur.

Pour ce faire le prescripteur doit prendre en compte :

- l'utilisation du BFUP frais et durci ;
- les conditions de **cure** et de maturation ;
- les dimensions de la structure (développement de la chaleur) ;
- les agressions environnementales et les conditions de service auxquelles la structure sera exposée, en lien avec la durabilité attendue ;
- toutes les exigences sur l'aspect des parements et la finition des surfaces ;
- toutes les exigences liées à l'épaisseur des sections, à l'enrobage des éventuelles **armatures** ;
- toutes les exigences liées aux conditions de mise en œuvre du BFUP.

La spécification du BFUP pour un projet donné doit comprendre les spécifications de base suivantes :

- la conformité à la **norme NF EN P 18-470** ;
- la classe de résistance à la **compression** ;
- la classe associée au type de fibres (Type M ou Type A) contribuant à assurer la non-fragilité ;
- la valeur cible de **consistance** (Ca,Cv,Ct) ou à défaut la classe de consistance ;
- la classe de traitement thermique (STT, TT1, TT2, TT1+2) et les paramètres de contrôle associés au(x) traitement(s) le cas échéant ;
- le comportement en **traction** ;
- Les classes d'exposition s'appliquant aux parties d'ouvrage concernées ;
- la durée d'utilisation du projet.

En fonction de la nature et des besoins du projet, la spécification du BFUP peut être complétée par :

- les données liées aux agressions chimiques nécessaires au respect des exigences relatives à la durabilité, en cas d'exposition XA1, XA2 ou XA3 ;
- la caractérisation de l'exposition à l'incendie ;
- la classe de résistance à l'abrasion ;
- la ou les classes de résistance aux transferts ;
- la dimension maximale des **granulats** ;
- les caractéristiques associées au développement de la résistance, par exemple résistance à une échéance précoce ;
- la masse volumique ;
- le coefficient de **dilatation thermique** ;
- le module d'Young ;
- le coefficient de Poisson ;
- les caractéristiques de **retrait** ;
- les caractéristiques liées au **fluage** ;
- la température du BFUP frais ;
- la teneur en air du BFUP frais ;
- la **porosité** à l'eau ;

- le coefficient de diffusion des ions chlorure ;
- la perméabilité aux gaz ;
- l'absorption capillaire...

Les articles 7 à 10 de la norme NF P 18-470 précisent les modalités de vérification d'atteinte des exigences lors de l'épreuve d'étude, lors de l'épreuve de convenance, et en épreuve de contrôle au cours de la production.

SOMMAIRE DE LA NORME NF P 18-470

1. DOMAINE D'APPLICATION

2. RÉFÉRENCES NORMATIVES

3. TERMES ET DÉFINITIONS

4. CLASSIFICATION, DÉSIGNATION ET CODIFICATION

- 4.1. CLASSES ASSOCIÉES AU TYPE DE FIBRES CONTRIBUANT À ASSURER LA NON FRAGILITÉ
- 4.2. CLASSIFICATION EN FONCTION DES ACTIONS DUES À L'ENVIRONNEMENT
- 4.3. CLASSES CORRESPONDANT AUX BFUP FRAIS ET EN COURS DE MATURATION
- 4.4. CLASSES CORRESPONDANT AUX PROPRIÉTÉS DES BFUP DURCIS
- 4.5. DÉSIGNATION

5. EXIGENCES

- 5.1. EXIGENCES RELATIVES AUX CONSTITUANTS
- 5.2. EXIGENCES POUR LA COMPOSITION DES BFUP
- 5.3. EXIGENCES LIÉES AUX CLASSES D'EXPOSITION
- 5.4. EXIGENCES POUR LES BFUP À L'ÉTAT FRAIS
- 5.5. EXIGENCES POUR LES BFUP DURCIS
- 5.6. CARTE D'IDENTITÉ

6. SPÉCIFICATIONS DES BFUP

- 6.1. GÉNÉRALITÉS
- 6.2. SPÉCIFICATIONS DE BASE
- 6.3. EXIGENCES COMPLÉMENTAIRES

7. ÉPREUVES D'ÉTUDES ET DE CONVENANCE

- 7.1. GÉNÉRALITÉS
- 7.2. ÉPREUVES D'ÉTUDES
- 7.3. ÉPREUVES DE CONVENANCE

8. MAITRISE DE LA PRODUCTION DES BFUP

- 8.1. MAITRISE DE LA PRODUCTION ET DU TRANSPORT DU BFUP FRAIS
- 8.2. MAITRISE DE LA MISE EN ŒUVRE DU BFUP FRAIS
- 8.3. MAITRISE DE LA PRISE ET DE LA MATURATION DU BFUP

9. CONTRÔLE DE PRODUCTION ET CONFORMITÉ AUX EXIGENCES

- 9.1. CRITÈRES APPLICABLES À LA PRODUCTION ET À LA LIVRAISON DES BFUP À L'ÉTAT FRAIS
- 9.2. CRITÈRES APPLICABLES AUX BFUP DURCIS

10. ÉVALUATION DE LA CONFORMITÉ

- 10.1. ÉTAPES DE L'ÉVALUATION DE CONFORMITÉ D'UN BFUP
- 10.2. TÂCHES ET RESPONSABILITÉ

ANNEXES

- A. ADAPTATION DES MODES OPÉRATOIRES POUR LA DÉTERMINATION DES CLASSES DE RÉSISTANCE AUX TRANSFERTS
- B. ESTIMATION DES VALEURS CARACTÉRISTIQUES
- C. ESSAI DE COMPRESSION ET PROPRIÉTÉS MÉCANIQUES DÉDUITES
- D. ESSAIS DE FLEXION SUR PRISMES ET MÉTHODE D'EXPLOITATION
- E. ESSAI DE FLEXION SUR PLAQUES MINCES ET MÉTHODES D'EXPLOITATION
- F. DÉTERMINATION DES FACTEURS D'ORIENTATION K À PARTIR DES ESSAIS DE TRACTION PAR FLEXION
- G. MAITRISE DE LA PRODUCTION DES PRÉ-MÉLANGES DE CONSTITUANTS
- H. COMPORTEMENT À HAUTE VITESSE DE SOLlicitATION
- I. ESSAI D'ABRASION HYDRAULIQUE

Auteur

Patrick Guiraud



**Retrouvez toutes nos publications
sur les ciments et bétons sur
infociments.fr**

Consultez les derniers projets publiés
Accédez à toutes nos archives
Abonnez-vous et gérez vos préférences
Soumettez votre projet

Article imprimé le 05/04/2025 © infociments.fr