

## NOTE D'INFORMATION : BIEN PRESCRIRE LES BÉTONS

### CARACTÉRISTIQUES MÉCANIQUES DES BÉTONS

Pour les bétons ordinaires de masse volumique allant de 2000 kg/m<sup>3</sup> à 2600 kg/m<sup>3</sup> et destinés aux structures, la norme NF EN 206/CN distingue 16 classes de résistance. Pour les bétons légers (< 2000 kg/m<sup>3</sup>), elle distingue 14 classes de résistance.

La norme NF EN 206/CN définit également des valeurs limites spécifiées relatives à la composition et aux propriétés du béton en fonction de chaque classe d'exposition pour assurer la durabilité de l'ouvrage.

Pour définir la classe de résistance définitive pour chaque partie d'ouvrage du projet à réaliser, il faut donc tenir compte de la classe de résistance nécessaire au calcul et de la classe limite déduite des classes d'exposition.

Le choix de la classe de résistance est de la responsabilité du rédacteur du CCTP. Elle doit être précisée dans le CCTP pour chaque partie d'ouvrage et doit être en cohérence avec les diverses propriétés prescrites pour le béton.

**Exemple de rédaction à inclure dans le CCTP :**

**Les spécifications des bétons de structure sont récapitulées dans le tableau de définition des bétons ci-après :**

**TABLEAU DE DÉFINITION DES BÉTONS**

Partie d'ouvrage	Classes d'exposition (et type d'attaque chimique éventuelle)	Type de béton	Classe de résistance caractéristique minimale en compression à 28 jours	Niveau de prévention RAG	Niveau de prévention RSI	Prescriptions complémentaires*
...						
...						

*\* : par exemple des éventuelles caractéristiques complémentaires du ciment (PM, ES, SR, CP1 ou CP2) ou du liant (cf. FD P 18-011)*

**(cf. RECO DÉCOMPOSITION EN PARTIES D'OUVRAGE ET TABLEAU DE DÉFINITION DES BÉTONS)**

Pour le dimensionnement des structures en béton, les concepteurs ont la possibilité de spécifier des bétons particuliers visant à répondre aux exigences de performance et de durabilité de leur projet. Par exemple, lorsque les flèches calculées dépassent les limites de service, le concepteur peut justifier des flèches inférieures en augmentant la classe de résistance du béton et le module d'élasticité associé plutôt qu'en redimensionnant l'élément structural. Il incombe cependant de veiller à ce que le contrôle de la qualité dans la production du béton permette de bien répondre à ces exigences spécifiées.

Un béton destiné aux structures est caractérisé par sa classe de résistance à la compression à 28 jours, qui indique la résistance caractéristique requise vis-à-vis de la compression à 28 jours. Cette classe de résistance s'exprime de la manière suivante : CX / Y. Le C correspond au mot « concrete » (béton), il indique le type de matériau utilisé. Le X correspond à la résistance à la compression en MPa à 28 jours, mesurée sur éprouvette cylindrique et le Y pour une mesure effectuée sur une éprouvette cubique.

Toutefois, en conception, toute une gamme de propriétés peut être utilisée, mais ces dernières ne sont pas systématiquement demandées. Elles peuvent concerner aussi bien l'intégrité structurale et l'aptitude au service. La norme NF EN 1992-1-1, (Eurocode 2 : Conception des structures en béton, Partie 1-1 - Règles générales et règles pour les bâtiments, Section 3 : Matériaux) détaille ces propriétés.

Cette norme définit des règles pour la conception des structures en béton et dans le Tableau 3.1 donne les valeurs recommandées pour différentes propriétés mécaniques du béton en phase de conception. Ces valeurs sont basées sur un certain nombre d'hypothèses et en général sont conservatrices. Dans la plupart des cas, elles resteront appropriées, mais, dans certaines circonstances, la valeur de conception supposée pourra se traduire par des contraintes inadéquates sur la conception. Les ingénieurs qui souhaitent tirer parti du plein potentiel de leur construction peuvent donc souhaiter examiner de plus près ces valeurs de conception afin d'identifier les changements qui pourraient apparaître les plus pertinents. Cela est notamment le cas lorsque des Bétons à Hautes Performances (BHP) sont envisagés, lorsque des considérations d'entretien ou de maintenance influencent le processus de conception. Ainsi, si une valeur de module plus élevée du béton peut être obtenue, la portée de dalles peut être augmentée sans accroissement systématique de leur épaisseur. L'utilisation de BHP peut également conduire à des valeurs de retrait et de fluage plus faibles.

Les concepteurs peuvent donc souhaiter spécifier des valeurs différentes de celles du Tableau 3.1 de la norme NF EN 1991-1-1 pour une propriété donnée.

Le Tableau 3.1 de la norme NF EN 1992-1-1 fournit des valeurs pour les principales caractéristiques de résistance et de déformation du béton, ceci pour une gamme de classes de résistance pour des bétons de masse volumique normale et les bétons lourds (résistance sur éprouvettes cylindriques).

**Tableau 3.1 : Caractéristiques de résistance et de déformation du béton (NF EN 1992-1-1)**

Classes de résistance du béton														Expression analytique Commentaires	
$f_{ck}$ (MPa)	12	16	20	25	30	35	40	45	50	55	60	70	80	90	
$f_{ck,cube}$ (MPa)	15	20	25	30	37	45	50	55	60	67	75	85	95	105	
$f_{cm}$ (MPa)	20	24	28	33	38	43	48	53	58	63	68	78	88	98	$f_{cm} = f_{ck} + 8$ (MPa)
$f_{ctm}$ (MPa)	1,6	1,9	2,2	2,6	2,9	3,2	3,5	3,8	4,1	4,2	4,4	4,6	4,8	5,0	$f_{ctm} = 0,30 \times f_{ck}^{(2/3)} \leq C50/60$ $f_{ctm} = 2,12 \cdot \ln(1 + (f_{cm}/10))$ > C50/60
$f_{ctk,0,05}$ (MPa)	1,1	1,3	1,5	1,8	2,0	2,2	2,5	2,7	2,9	3,0	3,1	3,2	3,4	3,5	$f_{ctk,0,05} = 0,7 \times f_{ctm}$ fractile 5 %
$f_{ctk,0,95}$ (MPa)	2,0	2,5	2,9	3,3	3,8	4,2	4,6	4,9	5,3	5,5	5,7	6,0	6,3	6,6	$f_{ctk,0,95} = 1,3 \times f_{ctm}$ fractile 95 %
$E_{cm}$ (GPa)	27	29	30	31	33	34	35	36	37	38	39	41	42	44	$E_{cm} = 22[(f_{cm}/10)]^{0,3}$ ( $f_{cm}$ en MPa)

$f_{ck}$	Résistance caractéristique à la compression du béton déterminée par essais sur éprouvettes cylindriques
$f_{ck, cube}$	Résistance caractéristique à la compression du béton déterminée par essais sur éprouvettes cubiques
$f_{cm}$	Résistance moyenne à la compression du béton
$f_{ctm}$	Résistance moyenne en traction directe du béton
$f_{ctk, 0.05}$	Fractile à 5% de la résistance en traction directe
$f_{ctk, 0.95}$	Fractile à 95% de la résistance en traction directe
$E_{cm}$	Module d'élasticité moyen

Remarque : En complément de ces propriétés, d'autres propriétés jouent un rôle important dans la conception : retraits endogènes et de dessiccation, coefficient de dilatation thermique et conductivité thermique, résistance au feu, élévation de température adiabatique, mais aussi propriétés de durabilité (coefficient de diffusion aux ions chlorures, perméabilité, porosité...).

**Remarque** : Les caractéristiques de résistance et de déformation des bétons légers sont précisées dans le tableau 11.3.1 (Chapitre 11 de la norme NF EN 1992-1-1)

Classe de résistance à la compression	Résistance caractéristique minimale sur cylindres $f_{ck, cyl}$ N/mm <sup>2</sup>	Résistance caractéristique minimale sur cubes $f_{ck, cube}$ N/mm <sup>2</sup>
C8/10	8	10
C12/15	12	15
C16/20	16	20
C20/25	20	25
C25/30	25	30
C30/37	30	37
C35/45	35	45
C40/50	40	50
C45/55	45	55
C50/60	50	60
C55/67	55	67
C60/75	60	75
C70/85	70	85
C80/95	80	95
C90/105	90	105
C100/115	100	115

**Tableau 12 — Classes de résistance à la compression pour les bétons de masse volumique normale et les bétons lourds (NF EN 206/CN)**

Classe de résistance à la compression	Résistance caractéristique minimale sur cylindres $f_{ck,cyl}$ N/mm <sup>2</sup>	Résistance caractéristique minimale sur cubes <sup>a</sup> $f_{ck,cube}$ N/mm <sup>2</sup>
LC8/9	8	9
LC12/13	12	13
LC16/18	16	18
LC20/22	20	22
LC25/28	25	28
LC30/33	30	33
LC35/38	35	38
LC40/44	40	44
LC45/50	45	50
LC50/55	50	55
LC55/60	55	60
LC60/66	60	66
LC70/77	70	77
LC80/88	80	88

<sup>a</sup> D'autres valeurs peuvent être utilisées si leur relation avec la résistance sur cylindres de référence est établie et documentée.

**Tableau 13 — Classes de résistance à la compression pour les bétons légers (NF EN 206/CN)**

La seule propriété spécifiée de manière systématique dans les projets est la résistance caractéristique à la compression à 28 jours. Elle permet généralement de déduire les autres propriétés mécaniques au travers de relations mathématiques approchées.

Il est indispensable de bien spécifier le matériau dès en amont de la rédaction du CCTP pour éviter de revérifier ou de modifier une conception. **Ainsi, demander un changement de classe de résistance à la traction se traduira par un changement de classe du béton, et donc par un ferrailage minimal différent afin de contrôler la fissuration.**

Dans la norme NF EN 206/CN : Spécification, performance, production et conformité, la résistance à la compression est exprimée en classes de résistance. La norme NF EN 1992-1-1 utilise la résistance caractéristique sur éprouvette cylindrique  $f_{ck}$  et fournit diverses expressions pour calculer d'autres propriétés du béton (résistance à la traction, module, fluage et retrait) bien que des valeurs plus précises puissent être obtenues à partir d'essais normalisés.

La classe de résistance est définie à la fois pour des essais sur éprouvettes cylindriques ou sur cubes. Les Tableaux 12-13 de la norme NF EN 206/CN sont reproduits à cet effet pour les bétons de masses volumiques normales, lourds ou légers.

Cette norme définit des valeurs limites spécifiées relatives à la composition et aux propriétés du béton en fonction de chaque classe d'exposition :

Classe d'exposition	Classe de résistance minimale
X0	-
XC1 - XC2	C20/25
XC3 - XC4 - XD1 - XF1 - XF2	C25/30
XD2 - XS1 - XS2 - XF3 - XF4 - XA1	C30/37
XD3 - XS3 - XA2	C35/45
XA3	C40/50

Ces classes sont données dans la norme NF EN 206/CN pour des ouvrages de durée d'utilisation de 50 ans.

**Remarque :** La résistance caractéristique à 28 jours est la donnée la plus couramment utilisée ; elle n'est cependant pas la seule. Il peut être ainsi nécessaire de fixer une résistance au jeune âge (pour le transfert d'effort de précontrainte) ou une résistance plus élevée à longue échéance (dans le cas d'un matériau à maturation différée). La norme NF EN 1992-1-1 donne des expressions pour appréhender cette dépendance temporelle de la résistance caractéristique à la compression.

La résistance caractéristique à la compression  $f_{ck}$  est la valeur de résistance au-dessous de laquelle on peut s'attendre à avoir 5% des résultats. Il n'y a donc rien de surprenant à obtenir des valeurs individuelles de résistance au-dessous de cette valeur caractéristique ; il y a lieu de s'inquiéter si la valeur moyenne est de moins de 4MPa supérieure à la valeur caractéristique ou plusieurs valeurs individuelles sont à plus de 4 MPa au-dessous de  $f_{ck}$  (NF EN 206/CN).

La résistance moyenne  $f_{cm}$  est par contre une valeur particulièrement intéressante pour l'établissement de la formule de béton et est destinée à tenir compte de la variabilité en phase de production. Elle est donc utile dans les études de conformité, que ce soit en études, convenances ou production. La NF EN 206/CN spécifie ainsi diverses règles de conformité à cet égard.

**La résistance caractéristique ne doit pas être confondue avec la résistance de calcul.** Celle-ci se déduit de la valeur caractéristique en multipliant cette dernière par un coefficient  $\alpha_{cc}$  tenant compte des effets à long terme sur la résistance en compression et des effets défavorables résultant de la manière dont la charge est appliquée, et en la divisant par le coefficient partiel relatif au béton  $\gamma_c$  :  $f_{cd} = \alpha_{cc} \frac{f_{ck}}{\gamma_c}$ . La valeur de  $\alpha_{cc}$  dépend de l'annexe nationale de l'EN 1992-1, et se situe entre 0,8 et 1,0. La valeur recommandée est 1.

Comme indiqué précédemment, le choix de la classe de résistance et donc de la résistance caractéristique  $f_{ck}$  à 28 jours permet de calculer un ensemble de propriétés : résistance à la traction, module d'élasticité, déformation limite... Le choix de la classe conditionne donc de nombreux paramètres de calcul intervenant dans la conception d'un ouvrage en béton. Il convient donc d'être particulièrement vigilant dans le choix de la classe, mais aussi dans les tests de conformité si certains autres paramètres que la résistance à la compression présentent une influence non négligeable sur le projet.