

# Guide pratique pour la spécification des bétons

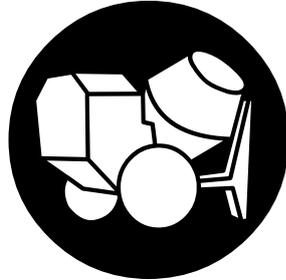


n° 42

2023

Innovation  
Paper

La présente publication a été élaborée par Buildwise dans le cadre de l'Antenne Normes 'Béton, mortier, granulats' subsidiée par le SPF Économie.



**Auteurs :** V. Dieryck et V. Pollet (Buildwise)

**Ont également contribué à l'élaboration du document :** B. de Schrijver (FEDBETON), C. Ployaert (FEDBETON) et O. Rens (ABEF).



# Sommaire

1. LA SPÉCIFICATION DU BÉTON EN BREF	4
2. CLASSE DE RÉSISTANCE À LA COMPRESSION DU BÉTON	6
3. DOMAINE D'UTILISATION DU BÉTON	7
4. CLASSE D'ENVIRONNEMENT DU BÉTON	8
5. VALEUR D'AFFAISSEMENT CIBLE PRÉFÉRENTIELLE OU CLASSE DE CONSISTANCE DU BÉTON	11
6. DIMENSION NOMINALE DU PLUS GROS GRANULAT	13
7. DONNÉES COMPLÉMENTAIRES	15
7.1 Mesures de prévention en matière de réaction alcali-silice	15
7.2 Type de ciment	16
7.3 Type de béton avec air entraîné pour les classes d'environnement EE3, EE4, ES2 et ES4	18
7.4 Classe d'absorption d'eau	18
7.5 Béton apparent	19
7.6 Utilisation de granulats recyclés	19
7.7 Conditions de mise en œuvre	20
8. SPÉCIFICATION DES BÉTONS SPÉCIAUX	22
8.1 Béton autoplaçant	22
8.2 Béton fibré	23
9. SPÉCIFICATION DES BÉTONS POUR ÉLÉMENTS PARTICULIERS	25
9.1 Béton pour fondations à faible profondeur	25
9.2 Béton pour ouvrages géotechniques spéciaux	27
9.3 Béton pour sols intérieurs	31
9.4 Béton à empreinte carbone réduite	36
10. EXEMPLES DE SPÉCIFICATIONS COURANTES DU BÉTON	37
BIBLIOGRAPHIE	39

# 1. La spécification du béton en bref

La spécification correcte du béton dans les cahiers des charges et lors de la commande est primordiale en vue d'éviter de nombreuses discussions lors de la mise en œuvre et après celle-ci. La spécification du béton doit se faire sur la base de la norme européenne NBN EN 206 [B11] et de son supplément belge, la norme NBN B 15-001 [B5], mais il n'est pas toujours aisé de s'y retrouver. Le but de ce document est de fournir un guide pour faciliter cette spécification.

Buildwise a également développé à cet effet une [application 'BETON'](#). Celle-ci offre une solution facile et pratique pour définir correctement la spécification du béton en répondant simplement à une série de questions (p. ex. type d'élément, type d'environnement, mode de déchargement du béton, etc.). L'application fournit ensuite toutes les données à spécifier dans le cahier des charges et lors de la commande : classe(s) d'environnement, classe de consistance, dimension nominale des granulats, ... Elle est accessible gratuitement sur [betonapp.buildwise.be](https://betonapp.buildwise.be). Le présent guide complète cette application en fournissant des informations plus approfondies sur la spécification du béton.

Il est possible de spécifier le béton de deux manières :

- selon une composition définie : le prescripteur doit s'assurer que la composition permettra d'atteindre les performances attendues ou demandées tant à l'état frais qu'à l'état durci et que le béton est conforme aux normes précitées. Cette méthode exige une connaissance approfondie en technologie du béton et des caractéristiques des matériaux disponibles. C'est pourquoi elle est déconseillée
- à l'aide de propriétés spécifiées, sous forme d'exigences performantielles attendues. La spécification d'un béton à propriétés spécifiées constitue la seule méthode permettant de prescrire un béton porteur de la marque BENOR<sup>(1)</sup>.

La spécification d'un **béton à propriétés spécifiées** doit comprendre les éléments suivants (à mentionner sur le bon de commande) :

- une donnée de base générale : 'béton conforme aux normes NBN EN 206 [B11] et NBN B 15-001 [B5]'
- d'autres données de base :
  - la classe de résistance (A)
  - le domaine d'utilisation (B1)
  - la ou les classes d'environnement (B2). Il est également possible de spécifier les classes d'exposition pertinentes (mais la préférence est donnée à la spécification des classes d'environnement)
  - la valeur d'affaissement cible préférentielle ou la classe de consistance (C)
  - la dimension nominale du plus gros granulats (D)
- d'éventuelles données complémentaires (E) :
  - le niveau de prévention de la réaction alcali-silice
  - le type de ciment (ciment à haute résistance aux sulfates selon la norme NBN B 12-108 [B3], ...)
  - l'utilisation d'un entraîneur d'air
  - la classe d'absorption d'eau par immersion (WAI)
  - l'utilisation de granulats recyclés
  - le maintien de la consistance (TCz, où z est la durée du maintien de la consistance exprimée en minutes)
  - la pompabilité du béton et, le cas échéant, la longueur de la flèche et des tuyaux ajoutés, ...
  - la conformité à l'annexe D des normes NBN EN 206 et NBN B 15-001 dans le cas des bétons pour travaux géotechniques spéciaux.

Le tableau 1 (p. 5) présente les étapes à suivre pour la spécification du béton. Celles-ci sont détaillées dans les chapitres suivants.

---

<sup>(1)</sup> La marque BENOR est une marque de qualité volontaire. Les bétons à performances spécifiées selon les normes NBN EN 206 [B11] et NBN B15-001 [B5] peuvent faire l'objet d'une certification BENOR par tierce partie sur la base du règlement d'application TRA 550 [B1] de BE-CERT. La marque BENOR couvre les propriétés spécifiées du béton jusqu'au moment de son déchargement sur chantier.

**Tableau 1** Prescriptions générales pour la spécification des bétons.

Béton conforme aux normes NBN EN 206 [B1 1] et NBN B 15-001 [B5]									
Données de base A : choisir la classe de résistance $Cf_{ck,cyl}/f_{ck,cube}$ <sup>(1) (2)</sup>									
Classe	C8/10	C12/15	C16/20	C20/25	C25/30	C30/37	C35/45	C40/50	
	C45/55	C50/60	C55/67	C60/75	C70/85	C80/95	C90/105	C100/115	
Données de base B1 : choisir le domaine d'utilisation									
BNA	Béton non armé (teneur en ions chlore rapportée à la masse de ciment $\leq 1,00\%$ )								
BA	Béton armé (teneur en ions chlore rapportée à la masse de ciment $\leq 0,40\%$ )								
BP	Béton précontraint (teneur en ions chlore rapportée à la masse de ciment $\leq 0,20\%$ )								
Données de base B2 : choisir la classe d'environnement									
Classe	Description							BNA Classe de résistance min.	BA/BP Classe de résistance min.
Environnement non agressif									
E0	(béton de propreté)							C12/15	Pas d'application
Environnement intérieur sec									
EI	(parois intérieures des habitations et bureaux)							C12/15	C16/20
Environnement extérieur ou intérieur humide									
EE1	Pas de gel (fondation sous le niveau de gel, béton immergé en permanence, ...)							C12/15	C20/25
EE2	Gel mais pas de contact avec la pluie (vide sanitaire, passage couvert dans le bâtiment, ...)							C25/30	C25/30
EE3	Gel et contact avec la pluie (murs extérieurs ou surfaces extérieures horizontales en contact avec la pluie et/ou eau projetée, ...)							C30/37 C20/25 <sup>(3)</sup>	C30/37 C25/30 <sup>(3)</sup>
EE4	Gel et sels de déverglaçage (éléments d'infrastructure routière, sol des parkings soumis au gel, ou surfaces extérieures en contact avec des sels de déverglaçage, ...)							C35/45 C25/30 <sup>(3)</sup>	C35/45 C30/37 <sup>(3)</sup>
Environnement marin									
ES1	Contact avec air marin (jusqu'à 3 km de la côte) ou eau saumâtre – sans gel (fondations sous le niveau de gel exposées à de l'eau saumâtre, ...)							C20/25	C30/37
ES2	Contact avec air marin (jusqu'à 3 km de la côte) ou eau saumâtre – avec gel (murs extérieurs ou surfaces extérieures horizontales en contact avec la pluie en zone côtière, ...)							C30/37 C20/25 <sup>(3)</sup>	C30/37 C25/30 <sup>(3)</sup>
ES3	Contact avec eau de mer – éléments immergés							C25/30	C35/45
ES4	Contact avec eau de mer – éléments exposés aux marées et éclaboussures (murs de quai...)							C35/45 C25/30 <sup>(3)</sup>	C35/45 C30/37 <sup>(3)</sup>
Environnement chimiquement agressif (toujours en combinaison avec l'une des classes d'environnement mentionnées ci-dessus)									
EA1	Faible agressivité chimique							C25/30	C25/30
EA2	Moyenne agressivité chimique							C30/37	C30/37
EA3	Forte agressivité chimique							C35/45	C35/45
Données de base C : choisir la valeur d'affaissement cible préférentielle									
	Exemples d'application								
	S20	mise en place du béton à la machine à coffrages glissants							
	S70	béton de revêtement posé à la poutre vibrante							
	S120	béton pour escalier, béton coulé en pente, ...							
	S150	poutres (vibrées)							
	S180	sols ( <i>laser screed</i> ), murs, colonnes, poutres (peu de vibrations)							
	S210	béton de dallage, couches de compression, semelles de fondation							
Donnée de base D : choisir la dimension nominale du plus gros granulat [mm]									
6	8	10	11	12	14	16	20	22	32
Données complémentaires E									
Mesures de prévention de la réaction alcali-silice (RAS) : niveau de prévention (PREV)									
PREV1	Éléments de construction pour lesquels les effets de la RAS sont très limités (béton non armé, béton revêtu d'un coating)								
PREV2 (par défaut)	Éléments de construction pour lesquels les effets de la RAS sont peu acceptables (béton de structure, p. ex.)								
PREV3	Éléments de construction pour lesquels les effets de la RAS ne sont pas acceptables (travaux d'infrastructure, p. ex.)								
Béton pompé (longueur de la flèche et des tuyaux ajoutés) ou non									
Teneur en air sur béton frais de 3,0 % maximum pour sols talochés ou lissés									
TCz où z est le temps de maintien de la consistance en minutes – TZ30 (par défaut)									
Béton certifié durable – réduction CO <sub>2</sub> : niveau 1, 2, 3 ou 4 (certification CSC) <sup>(4)</sup>									
Autres exemples : classe d'absorption d'eau par immersion WAI, type de ciment (ciment à haute résistance aux sulfates suivant la norme NBN B 12-108 [B3], p. ex.), teneur en ciment supérieure à celle prévue dans les classes d'environnement, béton avec air entraîné, classe de teneur en chlorures inférieure à celle d'application, granulats recyclés, béton pour pieu/paroi moulée conforme à l'annexe D de la norme NBN EN 206 [B11], ...									

<sup>(1)</sup>  $f_{ck,cyl}$  = résistance à la compression sur cylindre [N/mm<sup>2</sup>] (cylindre de 300 mm de hauteur et 150 mm de diamètre).

$f_{ck,cube}$  = résistance à la compression sur cube [N/mm<sup>2</sup>] (cube de 150 mm de côté).

<sup>(2)</sup> Tenir compte de la classe d'environnement pour le choix de la classe de résistance.

<sup>(3)</sup> Béton avec air entraîné.

<sup>(4)</sup> Certification non couverte par la marque BENOR.

## 2. Classe de résistance à la compression du béton

La classe de résistance du béton sera choisie parmi les 16 classes reprises au tableau 1 (p. 5).

Chaque classe est désignée par la lettre C suivie de la résistance caractéristique à la compression sur cylindre et sur cube :

$$C_{f_{ck,cyl}/f_{ck,cube}}$$

(C25/30, C30/37, etc.).

Les deux nombres sont importants :  $f_{ck,cyl}$  est utilisé pour le calcul de la structure en béton (sur des cylindres de 150 mm de diamètre sur 300 mm de haut), tandis que  $f_{ck,cube}$  sert au contrôle de la qualité (les cubes de 150 mm de côté sont d'un emploi plus pratique). La résistance caractéristique, exprimée en MPa ou en N/mm<sup>2</sup>, résulte de l'analyse statistique d'une série de résultats d'essais. Pour un béton donné, elle est définie comme étant la valeur de résistance minimale à 28 jours atteinte par 95 % de l'ensemble des mesures de résistance possibles pour le béton considéré (fractile de 95 %). Dans des cas spécifiques (ouvrages de masse, p. ex.), la résistance caractéristique à la compression peut être spécifiée pour un âge autre que 28 jours. La classe de résistance à la compression est alors complétée de l'âge correspondant, exprimé en jours (C30/37 (56 j), p. ex.).

Ces classes de résistance sont valables pour les bétons normaux et lourds. Pour le béton léger, d'autres classes sont utilisées et indiquées par les lettres LC à la place de C.

La classe de résistance est déterminée par le concepteur sur la base des hypothèses admises dans le projet. Il est à noter que les règles de calcul de l'Eurocode 2 [B6] s'appliquent aux bétons de classes de résistance allant jusqu'à C90/105. Étant donné que la classe de résistance la plus élevée est la classe C100/115, les normes NBN EN 206 [B11] et NBN B 15-001 [B5] ne couvrent pas les bétons à ultra hautes performances (BUHP) caractérisés par des résistances en compression moyennes de plus de 120 MPa à 28 jours.

Dans la norme NBN B 15-001 [B5], il existe un lien entre la classe d'environnement (voir chapitre 4, p. 8) et la classe de résistance minimale. Pour assurer la durabilité (résistance chimique, résistance au gel et à la corrosion des armatures), des classes d'environnement conduisant à des types de béton de classes de résistance plus élevées pourraient s'imposer. En cas d'utilisation d'un béton de classe de résistance plus élevée que celle prévue lors du dimensionnement, il y a lieu d'adapter ce dernier (calcul de ferrailage minimal et ouvertures de fissures).

# 3. Domaine d'utilisation du béton

Le domaine d'utilisation détermine si le béton est non armé, armé ou précontraint. Cette distinction est essentielle puisque le béton non armé est soumis à moins de mécanismes d'attaque que le béton armé ou précontraint. Les exigences minimales applicables pour les ouvrages non armés ne concernent que ceux dépourvus d'acier sujet à la corrosion (armatures, fibres d'acier, ancrages, ...).

Indiquer le domaine d'utilisation revient à définir implicitement la teneur maximale autorisée en ions chlore. La norme NBN B 15-001 [B5] stipule que la limite maximale autorisée dans le contexte belge est égale à 1,00% Cl<sup>-</sup> dans le béton non armé, à 0,40 % Cl<sup>-</sup> dans le béton armé et à 0,20 % Cl<sup>-</sup> dans le béton précontraint, et ce, par rapport à la masse de ciment contenue dans le béton (en tenant en compte des additions éventuelles).

Il est à noter qu'une classe de teneur en chlorures plus basse (classe Cl 0,20 pour le béton armé) est recommandée dans les milieux sujets à un apport en chlorures.

Pouvant notamment être présents dans le ciment, les adjuvants ou les granulats, les chlorures peuvent provoquer une 'corrosion initiée par les chlorures' dans le béton armé ou précontraint.

Il est donc primordial de limiter la teneur totale en ions chlore. L'ajout de chlorure de calcium ou d'adjuvants à base chlorée à du béton armé ou précontraint est par conséquent interdit.

## 4. Classe d'environnement du béton

La classe d'environnement réfère à l'environnement auquel le béton sera exposé. Un élément en béton faisant partie d'une structure intérieure doit répondre à des exigences de durabilité moins sévères qu'un élément extérieur.

La norme NBN B 15-001 [B5] identifie différents environnements couramment rencontrés en Belgique. Ceux-ci sont appelés 'classes d'environnement' et indiqués par la lettre E (dérivé de l'anglais *environment*), suivie par I, E, S ou A (*interior, exterior, sea* ou *aggressive*) et éventuellement d'un chiffre décrivant l'environnement de manière plus précise. La norme prévoit 13 classes d'environnement (voir tableau 1, p. 5). Une seule classe doit être spécifiée, sauf en présence d'un environnement chimiquement agressif (EA). Dans ce cas, il convient de recourir à une seconde classe d'environnement. Ainsi, pour un environnement extérieur légèrement agressif avec un risque de gel sans contact avec la pluie, on indiquera les classes EA1 et EE2, par exemple. Les exigences les plus strictes s'appliquent alors (teneur minimale en ciment et rapport maximal eau/ciment).

Pour chaque classe, des **exigences de durabilité** sont formulées pour les trois domaines d'utilisation. Elles sont traduites par un type de béton, éventuellement complété par d'autres exigences.

Un type de béton est une combinaison spécifique des exigences de durabilité suivantes :

- rapport eau/ciment maximal. Ce rapport donne la proportion entre la quantité d'eau efficace, présente dans le béton à l'état frais, et la teneur en ciment. La quantité d'eau efficace est égale à la quantité d'eau totale diminuée de celle absorbable par les granulats
- teneur minimale en ciment. Elle tient compte de la présence éventuelle d'ajouts de type II (cendres volantes, laitier de haut-fourneau, ...) sous certaines conditions suivant les normes NBN EN 206 [B11] et NBN B 15-001 [B5]
- classe de résistance à la compression minimale. Une classe supérieure à celle requise pour la stabilité de l'ouvrage peut donc être nécessaire. Dans le cas d'un sol industriel extérieur ou d'un trottoir de pont, par exemple, une classe de résistance à la compression minimale C30/37 (dans le cas des bétons avec air entraîné) ou C35/45 est requise pour une classe d'environnement EE4 (voir tableau 1, p. 5)
- teneur en air minimale/maximale (le cas échéant).

Le type de béton est indiqué par le symbole T, suivi d'un chiffre relatif au rapport eau/ciment maximal autorisé et éventuellement de la lettre A (de l'anglais *air*) dans le cas des bétons avec air entraîné. La norme prévoit dix types de béton (voir tableau 2, p. 9).

Pour les classes EE3, EE4, ES2 et ES4, deux types de béton sont possibles : un avec et un sans air entraîné. Il convient de mentionner dans les données complémentaires si un béton de type A est souhaité (avec air entraîné).

**Tableau 2** Exigences de durabilité pour le béton non armé (BNA), le béton armé (BA) et le béton précontraint (BP) selon les normes en vigueur.

Classe	Description	Air entraîné	BNA = béton non armé			BA = béton armé ou BP = béton précontraint				
			Type de béton	Classe de résistance à la compression min.	Teneur minimale en ciment [kg/m <sup>3</sup> ]	Rapport eau/ciment max.	Type de béton	Classe de résistance à la compression min.	Teneur minimale en ciment [kg/m <sup>3</sup> ]	Rapport eau/ciment max.
<b>Environnement non agressif</b>										
E0	Environnement non agressif	-	T(1,00)	C12/15	-	1,00	-	-	-	-
<b>Environnement intérieur sec</b>										
EI	Environnement intérieur sec	-	T(1,00)	C12/15	-	1,00	T(0,65)	C16/20	260	0,65
<b>Environnement extérieur ou intérieur humide</b>										
EE1	Pas de gel	-	T(1,00)	C12/15	-	1,00	T(0,60)	C20/25	280	0,60
EE2	Gel mais pas de contact avec la pluie	-	T(0,55)	C25/30	300	0,55	T(0,55)	C25/30	300	0,55
EE3	Gel et contact avec la pluie	sans air entraîné avec air entraîné	T(0,50) T(0,55)A	C30/37 C20/25 <sup>(1)</sup>	320 300	0,50 0,55	T(0,50) T(0,50)A	C30/37 C25/30 <sup>(2)</sup>	320 320	0,50 0,50
EE4	Gel et agents de déverglaçage	sans air entraîné avec air entraîné	T(0,45) T(0,50)A	C35/45 C25/30 <sup>(2)</sup>	340 320	0,45 0,50	T(0,45) T(0,45)A	C35/45 C30/37	340 340	0,45 0,45
<b>Environnement marin</b>										
ES1	Contact avec air marin (jusqu'à 3 km de la côte ou eau saumâtre) – sans gel	-	T(0,60)	C20/25	280	0,60	T(0,50)	C30/37	320	0,50
ES2	Contact avec air marin (jusqu'à 3 km de la côte ou eau saumâtre) – avec gel	sans air entraîné avec air entraîné	T(0,50) T(0,55)A	C30/37 C20/25 <sup>(1)</sup>	300 300	0,55 0,55	T(0,50) T(0,50)A	C30/37 C25/30 <sup>(2)</sup>	320 320	0,50 0,50
ES3	Contact avec eau de mer – éléments immergés	-	T(0,55)	C25/30	300	0,55	T(0,45)	C35/45	340	0,45
ES4	Contact avec eau de mer – éléments exposés aux marées et aux éclaboussures	sans air entraîné avec air entraîné	T(0,45) T(0,50)A	C35/45 C25/30 <sup>(2)</sup>	340 320	0,45 0,50	T(0,45) T(0,45)A	C35/45 C30/37	340 340	0,45 0,45
<b>Agressivité chimique (à combiner avec une autre classe d'environnement)</b>										
EA1	Faible agressivité chimique		T(0,55)	C25/30	300	0,55	T(0,55)	C25/30	300	0,55
EA2	Agressivité chimique modérée		T(0,50)	C30/37	320	0,50	T(0,50)	C30/37	320	0,50
EA3	Forte agressivité chimique		T(0,45)	C35/45	340	0,45	T(0,45)	C35/45	340	0,45

<sup>(1)</sup> Classe max. C25/30.

<sup>(2)</sup> Classe max. C30/37.

En cas d'agression chimique, une classe d'environnement complémentaire EA1, EA2 ou EA3 sera spécifiée en fonction de la nature de l'agressivité chimique (voir tableau 3). Pour chaque classe, ce tableau contient des valeurs limites en fonction du degré d'acidité et de la teneur en ions de substances agressives vis-à-vis du béton.

**Tableau 3** Valeurs limites pour les classes d'environnement, correspondant aux attaques chimiques des sols naturels et des eaux souterraines (voir tableau 2 de la norme NBN EN 206 [B11]).

Caractéristique chimique	Méthode d'essai de référence	EA1	EA2	EA3
<b>Eaux souterraines</b>				
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> [mg/l]	EN 196-2 [B10]	≥ 200 et ≤ 600	> 600 et ≤ 3.000	> 3.000 et ≤ 6.000
pH	ISO 4316 [O1]	≤ 6,5 et ≥ 5,5	≤ 5,5 et ≥ 4,5	< 4,5 et ≥ 4,0
CO <sub>2</sub> agressif [mg/l]	EN 13577 [B19]	≥ 15 et ≤ 40	> 40 et ≤ 100	> 100 jusqu'à saturation
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> [mg/l]	ISO 7150-2 [O2]	≥ 15 et ≤ 30	> 30 et ≤ 60	> 60 et ≤ 100
Mg <sup>2+</sup> [mg/l]	EN ISO 7980 [B22]	≥ 300 et ≤ 1.000	> 1.000 et ≤ 3.000	> 3.000 jusqu'à saturation
<b>Sols</b>				
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> total [mg/kg] <sup>(1)</sup>	EN 196-2 <sup>(2)</sup> [B10]	≥ 2.000 et ≤ 3.000 <sup>(3)</sup>	> 3.000 <sup>(3)</sup> et ≤ 12.000	> 12.000 et ≤ 24.000
Acidité selon Baumann-Gully [ml/kg]	EN 16502 [B21]	> 200	N'est pas rencontré dans la pratique	
<sup>(1)</sup> Les sols argileux dont la perméabilité est inférieure à 10 <sup>-5</sup> m/s peuvent être affectés à une classe inférieure. <sup>(2)</sup> La méthode d'essai prescrit l'extraction du SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> à l'acide chlorhydrique. Il est également possible de procéder à cette extraction avec de l'eau, si l'on dispose d'une expérience en la matière sur le lieu d'utilisation du béton. <sup>(3)</sup> La limite doit être ramenée de 3.000 mg/kg à 2.000 mg/kg en cas de risque d'accumulation d'ions sulfate dans le béton en raison de l'alternance de périodes sèches et humides ou d'absorption capillaire.				

À partir d'une concentration en ions sulfates supérieure à 600 mg/l dans l'eau ou à 3.000 mg/kg dans le sol (2.000 mg/kg en cas de risque d'accumulation), il est impératif de recourir à un ciment à haute résistance aux sulfates selon la norme NBN B 12-108 [B3] ou à une combinaison ciment/laitier conforme à l'ATG 'Laitier de haut-fourneau moulu – LMA' (comprenant au moins 66 % de laitier) ou à un ciment dont la haute résistance aux sulfates a été démontrée. Cette précision doit être indiquée comme donnée complémentaire (E).

Au-delà d'un certain degré d'agressivité et en cas d'attaques répétées (eau ruisselante), des mesures de protection du béton peuvent s'avérer nécessaires : mise en place d'un revêtement de protection, augmentation de l'épaisseur d'enrobage, ...

Les normes NBN EN 206 [B11] et NBN B 15-001 [B5] permettent également de prescrire un béton à l'aide des classes d'exposition. La norme NBN EN 206 définit celles-ci en fonction des éventuels mécanismes d'attaque auxquels le béton peut être soumis (cycles de gel/dégel avec ou sans sels de déverglaçage, attaque chimique et, en présence d'armatures, corrosion initiée soit par carbonatation soit par les chlorures). La norme prévoit 18 classes d'exposition, désignées par la lettre X suivie d'une lettre renvoyant au type de dégradation considéré.

La prescription judicieuse des classes d'exposition requiert une plus grande connaissance en matière de technologie du béton que la prescription des classes d'environnement. Il est plus pratique et plus rapide de sélectionner ces dernières que des classes d'exposition. C'est pourquoi la norme NBN B 15-001 [B5] recommande de définir les exigences de durabilité en fonction des classes d'environnement. Le tableau 1 (p. 5) donne des exemples d'éléments rencontrés pour les différentes classes d'environnement.

Ces deux types de classes sont intimement liés, puisque les exigences de durabilité des classes d'environnement sont dérivées de celles des classes d'exposition.

# 5. Valeur d'affaissement cible préférentielle ou classe de consistance du béton

Afin de pouvoir assurer une mise en œuvre correcte du béton frais, il importe de choisir un béton présentant une consistance (ouvrabilité) compatible avec la complexité et les dimensions de l'élément à couler, de même qu'avec la densité des armatures, le mode de mise en place et la technique de serrage.

La norme NBN EN 206 [B11] décrit trois méthodes permettant de déterminer la consistance d'un béton, la mesure de l'affaissement (*slump*) étant la plus couramment utilisée (voir figure 1).

La norme reprend différentes classes de consistance en fonction de la méthode de mesure utilisée. Cinq classes caractérisent l'affaissement du béton frais (de S1 à S5); elles figurent dans le tableau 4.



Fig. 1 Essai d'affaissement (*slump*).

Tableau 4 Classes d'affaissement.

Classe	Affaissement selon la norme NBN EN 12350-2 [B15]
S1	10 à 40
S2	50 à 90
S3	100 à 150
S4	160 à 210
S5	≥ 220

Généralement, on utilise les classes S4 ou S5 parce qu'elles permettent une mise en place aisée et un bon compactage. Une autre classe peut se justifier selon le type d'application, la densité du ferrailage, les méthodes de mise en place et de compactage. Notons que plus l'ouvrabilité du béton est élevée, plus le risque de ségrégation<sup>(2)</sup> est important. Si une ouvrabilité très élevée est requise, il est préférable d'opter pour un béton autoplaçant.

La nouvelle version de la norme NBN B 15-001 [B5] prévoit une autre possibilité qui consiste à prescrire la consistance avec une valeur d'affaissement cible préférentielle selon l'application (poutre, béton de dallage,...). La valeur cible est notée par la lettre S, suivie d'un nombre correspondant à l'affaissement, exprimé en mm (voir tableau 5).

Il est conseillé de vérifier régulièrement la consistance sur chantier. La méthode de contrôle est relativement simple. Si au moment de la livraison, la consistance du béton ne correspond pas à la classe commandée et ne peut être modifiée par ajout d'eau ou d'adjuvant sous la responsabilité de la centrale à béton, ce béton devra être refusé. En effet, tout ajout d'eau ou d'adjuvant par l'entrepreneur sur chantier implique la perte de la marque BENOR. Dans tous les cas, la consistance commandée doit être maintenue par la centrale à béton sur le chantier pendant 30 minutes, après ajout éventuel d'eau et/ou d'adjuvant et après mélange.

**Tableau 5** Valeurs d'affaissement cibles préférentielles en fonction de l'application.

	Valeur d'affaissement cible préférentielle [mm]	Exemple d'application
S20	20 ± 10	Béton mis en place à la machine à coffrages glissants
S70	70 ± 20	Béton de revêtement posé à la poutre vibrante
S120	120 ± 30	Béton pour escalier, béton coulé en pente, ...
S150	150 ± 30	Poutres (vibrées)
S180	180 ± 30	Béton pour sols ( <i>laser screed</i> ), murs, colonnes, poutres (peu vibrées)
S210	210 ± 30	Béton de dallage, couches de compression, semelles de fondation, ...

<sup>(2)</sup> La ségrégation du béton est un phénomène de séparation de ses constituants en fonction de leur taille ou leur densité. Il est lié à l'hétérogénéité du béton lorsqu'il est soumis à des manipulations (chute dans les coffrages, vibration, ...).

# 6. Dimension nominale du plus gros granulat

Pour obtenir un béton armé durable, il est entre autres indispensable que l'armature soit complètement enrobée de béton et que le recouvrement soit suffisamment épais. Cette couche d'enrobage constitue une protection des armatures contre la corrosion et assure une bonne adhérence entre celles-ci et le béton. Les granulats ne doivent pas être trop volumineux, car ils pourraient faire obstacle à l'enrobage complet de l'armature.

L'annexe informative P de la norme NBN B 15-001 [B5] contient des recommandations quant au choix de la dimension nominale du plus gros granulat  $D$  (voir ci-après). Les calibres possibles sont définis dans la norme européenne NBN EN 12620 [B17] (voir donnée de base  $D$  du tableau 1 (p. 5) pour les valeurs disponibles sur le marché belge).

Selon la nouvelle norme NBN EN 206 [B11], deux valeurs doivent être mentionnées lors de la spécification du béton, à savoir la plus petite valeur autorisée pour  $D$  ( $D_{\text{inf}}$ ) et la plus grande valeur autorisée pour  $D$  ( $D_{\text{sup}}$ ). Le diamètre du plus gros granulat sélectionné par le producteur de béton et effectivement utilisé dans le béton ( $D_{\text{max}}$ ) doit se trouver dans cet intervalle.

Si une seule valeur est spécifiée, la norme admet que le  $D_{\text{max}}$  du béton livré s'en écarte légèrement. Dans ce cas,  $D_{\text{inf}}$  et  $D_{\text{sup}}$  correspondent aux diamètres équivalents suivants, en tenant compte du fait que la valeur spécifiée doit se situer dans l'intervalle formé par les deux diamètres équivalents :

- 6 et 8
- 10 et 12
- 14 et 16
- 20 et 22.

Si la dimension du plus gros granulat sort de ces intervalles,  $D_{\text{max}}$  doit être égal à la valeur spécifiée.

Ainsi, si le cahier des charges spécifie un béton avec  $D = 20$  mm, alors le béton livré peut présenter un  $D_{\text{max}}$  de 20 ou 22 mm.

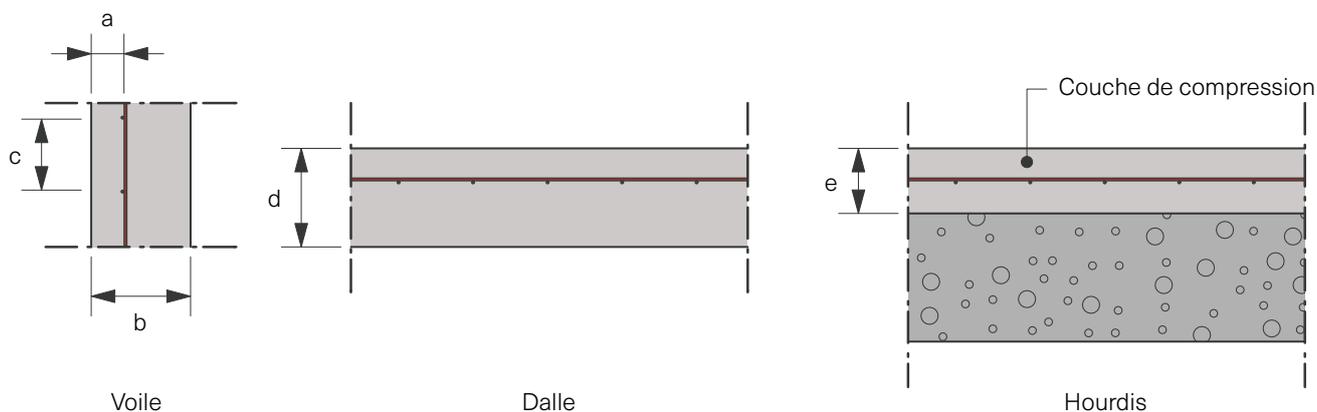
Selon la norme NBN B 15-001 [B5] (annexe informative P), le calibre des granulats ainsi que l'armature doivent être sélectionnés de telle manière que :

- le béton puisse entourer complètement les armatures lors de la mise en place
- le béton puisse être compacté de manière correcte sans entraîner de ségrégation.

Il est courant de sélectionner un  $D$  inférieur à :

- $\frac{1}{5}$  de la plus petite distance entre les parois du coffrage ( $b$ )
- $\frac{1}{5}$  de l'épaisseur de la dalle ( $d$ )
- $\frac{3}{4}$  du plus petit écartement entre les barres d'armature (en cas de recouvrement,  $\frac{3}{2}$  du plus petit écart) ( $c$ )
- $\frac{1}{4}$  de l'espace libre entre les armatures longitudinales utilisées pour la fabrication de pieux moulés dans le sol
- $\frac{2}{5}$  de l'épaisseur de la couche de compression d'un plancher composite ( $e$ )
- l'épaisseur d'enrobage ( $a$ ).

La figure 2 fournit une représentation schématique des informations contenues dans la norme NBN B 15-001 [B5].



**Fig. 2** Indication quant au choix de D.

Les diamètres les plus courants sur le marché belge sont 8, 16, 20 ou 32 mm. Pour les applications courantes, D équivaut généralement à 20 mm pour les gravillons concassés et à 32 mm pour les gravillons roulés. Dans le cas des bétons autoplaçants et des bétons à hautes performances, D est réduit à 16 mm.

Si le béton est pompé, il y a lieu de s'assurer que la dimension du plus gros granulats proposée est compatible avec le diamètre du tuyau de pompage et de l'adapter le cas échéant.

Si l'on recourt à une pompe compacte de type 'city pompe', la dimension du plus gros granulats sera de 16 mm. Ce type d'engin est notamment utilisé en milieu urbain pour remplacer une pompe standard lorsque l'on manque de place (pour estimer l'espace nécessaire, on tiendra compte de la surface du camion et de son empiètement).

En cas d'ajout de fibres, le  $D_{max}$  est limité à 22 mm ou à 16 mm, en fonction du type de fibres et de leur dosage (voir tableau 6).

Notons que l'application 'BETON' ([betonapp.buildwise.be](http://betonapp.buildwise.be)) permet de déterminer facilement la dimension nominale du plus gros granulats sur la base du type d'élément, de ses dimensions, ... (en calculant, entre autres, l'enrobage de l'élément).

**Tableau 6**  $D_{max}$  en fonction du type de fibres et de leur dosage.

Type de fibres	$D_{max}$ limité à 22 mm	$D_{max}$ limité à 16 mm
Fibres d'acier avec un $l/d^* \geq 80$	Tout dosage $\leq 20 \text{ kg/m}^3$	Tout dosage $> 20 \text{ kg/m}^3$
Fibres d'acier avec un $l/d < 80$ et $\geq 65$	Tout dosage $\leq 27,5 \text{ kg/m}^3$	Tout dosage $> 27,5 \text{ kg/m}^3$
Fibres d'acier avec un $l/d < 65$	Tout dosage $\leq 35 \text{ kg/m}^3$	Tout dosage $> 35 \text{ kg/m}^3$
Macrofibres de polymère	Tout dosage $\leq 5 \text{ kg/m}^3$	Tout dosage $> 5 \text{ kg/m}^3$

\* La valeur  $l/d$  est la longueur nominale divisée par le diamètre nominal de la fibre.

# 7. Données complémentaires

Dans le cas de certaines applications particulières, il peut s'avérer utile de définir des données complémentaires. Celles-ci peuvent concerner :

- le choix du niveau de prévention (PREV), les catégories d'exposition (AR) et les mesures de prévention vis-à-vis de la réaction alcali-silice
- la composition :
  - le type de ciment (ciment à haute résistance aux sulfates conforme à la norme NBN B 12-108 [B3], si la teneur en sulfates dans l'environnement est élevée, p. ex.)
  - la teneur minimale en ciment (si plus stricte que celle mentionnée ci-avant)
  - éventuellement l'option 'air entraîné' pour les classes d'environnement EE3, EE4, ES2 et ES4
  - le type de granulats
- le béton frais : exigence d'un délai de mise en œuvre garanti supérieur à la valeur par défaut et/ou d'une durée de maintien de la consistance supérieure à la valeur par défaut
- la mise en œuvre : pompage (préciser la longueur de la flèche et des tuyaux ajoutés), cadence des livraisons, ...
- le béton durci (classe d'absorption d'eau par immersion WAI, p. ex.)
- l'aspect esthétique du béton (apparent selon la norme NBN B 15-007 [B7], coloré, ...).

## 7.1 Mesures de prévention en matière de réaction alcali-silice

Le terme 'réaction alcali-silice' (RAS) couvre un ensemble de réactions expansives pouvant se produire entre certains composants des granulats (silices réactives) et les alcalis présents dans le béton qui proviennent de ses constituants ou de l'extérieur. Les réactions entraînent la formation de produits expansifs et notamment d'un gel d'alcali-silice capable d'attirer l'eau et donc de gonfler. Il en résulte des contraintes de traction internes conduisant à une fissuration du béton (voir figure 3). Les risques d'apparition de la réaction alcali-silice et de ses conséquences néfastes sont déterminés par plusieurs facteurs.



**Fig. 3** Structure en béton touchée par une réaction alcali-silice.

D'une part, l'application finale de l'élément de construction est déterminante pour ce qui est des coûts économiques et sociétaux que les dégâts pourraient engendrer. Ce facteur doit être fixé par le prescripteur sous la forme d'un **niveau de prévention RAS (PREV)**. Si le prescripteur ne le fournit pas, le producteur de béton doit, par défaut, prendre en compte le niveau de prévention RAS PREV2. Les différents niveaux sont définis dans le tableau 7 (p. 17).

D'autre part, l'exposition de l'élément de construction est déterminante en ce qui concerne le comportement et le degré de progression de la réaction. Ce facteur est lié à la **catégorie d'exposition RAS (AR)**. Si celle-ci n'est pas explicitement prescrite, elle peut être déterminée en fonction des classes d'exposition et d'environnement (voir tableau 7, p. 17). Les catégories d'exposition RAS sont également décrites dans le tableau 7. Elles sont en étroite relation avec les classes d'environnement et d'exposition.

Des mesures préventives adéquates doivent être prises en fonction du niveau de prévention RAS (PREV) et de la catégorie d'exposition RAS (AR) (voir tableau 7, p. 17). Plus ces deux derniers paramètres sont élevés, plus les mesures sont importantes. Certaines combinaisons de niveau de prévention RAS et de catégorie d'exposition RAS ne nécessitent, en revanche, aucune mesure préventive.

Lors de la spécification du béton, le niveau de prévention RAS (PREV) et la catégorie d'exposition RAS (AR) doivent être mentionnés dans les données complémentaires (dans le cas d'un grand immeuble : PREV3/AR2, p. ex.).

## 7.2 Type de ciment

Le choix du ciment (type et classe de résistance) est non seulement déterminé par la résistance finale souhaitée du béton, mais aussi par les conditions climatiques lors de sa mise en œuvre, son exposition pendant l'utilisation, la taille de l'élément, ...

En fonction des conditions climatiques, un type de ciment plus ou moins rapide pourrait être requis. En cas de faibles températures ambiantes pendant l'exécution (0 à 5 °C), il est recommandé d'utiliser un ciment de classe 42,5 R ou 52,5 N ou R. Si les températures restent moyennes lors de l'exécution (5 à 25 °C), il est préférable de recourir à un ciment de classe 42,5 en vue de obtenir un béton de classe de résistance C25/30 ou plus. Ces ciments prennent et durcissent assez rapidement et permettent d'obtenir une finition dans un délai acceptable. En cas de températures plus élevées durant l'exécution (> 25 °C), on préférera les types de ciment contenant moins de clinker Portland afin d'éviter une prise trop rapide. Si la classe de résistance requise le permet, un ciment de classe 32,5 peut également être utilisé. Dans ce contexte, il convient en outre d'accorder une attention particulière à la protection du béton contre la dessiccation.

Lorsque la concentration en ions sulfates dépasse 600 mg/l dans l'eau ou 3.000 mg/kg dans le sol (2.000 mg/kg en cas de risque d'accumulation), il est impératif de recourir à un ciment à haute résistance aux sulfates suivant la norme NBN B 12-108 [B3] ou à une combinaison ciment/laitier conforme à l'ATG 'Laitier de haut-fourneau moulu – LMA' comprenant au moins 66 % de laitier ou d'un ciment dont la haute résistance aux sulfates a été démontrée.

Les ciments à haute résistance aux sulfates selon la norme NBN B 12-108 [B3] sont :

- les ciments Portland CEM I-SR 0 et CEM I-SR 3
- les ciments de haut-fourneau CEM III/B-SR et CEM III/C-SR
- le ciment composé CEM V/A (S-V) HSR
- le ciment sursulfaté SSC HSR (NBN EN 15743 [B20]).

Si l'élément est humidifié de manière régulière ou permanente, les mesures nécessaires doivent être prises en vue de réduire le risque de réaction alcali-silice (voir § 7.1, p. 15).

Dans le cadre de la réalisation d'ouvrages massifs (épaisseur supérieure à 50 cm), il est recommandé d'utiliser des ciments à faible chaleur d'hydratation (LH – *Low Heat*) afin d'éviter les fissures thermiques.

**Tableau 7** Mesures de prévention RAS en fonction des niveaux de prévention (PREV) et des catégories d'exposition RAS (AR).

			Catégorie d'exposition AR			
			AR1	AR2	AR3	
			Environnement intérieur sec, sans exposition à des sources externes d'humidité	Environnement intérieur humide et extérieur, immergé ou en contact avec un sol non agressif	Environnement humide et exposé à des alcalis (sels de déverglaçage, p. ex.) ou à des variations d'humidité dues à des cycles mouillage-séchage	
			Classe d'environnement			
			EO, EI	EE1, EE2, EE3, ES1, ES2, ES3, EA1, EA2, EA3	EE4, ES4	
Niveau de prévention PREV	PREV1	<ul style="list-style-type: none"> <li>Éléments de construction pour lesquels <b>les effets de la RAS sont très limités et acceptables</b>. En principe, ce niveau se limite :                             <ul style="list-style-type: none"> <li>– au béton non armé ou armé de faible classe de résistance à la compression et d'exigences de durabilité basses</li> <li>– aux éléments qui sont remplaçables aisément et à moindre coût</li> <li>– aux constructions temporaires.</li> </ul> </li> <li>Éléments de construction pour lesquels le prescripteur prend d'autres mesures (imperméabilisation du béton, p. ex.) afin de prévenir la réaction RAS. Celui-ci est conscient que l'élément de construction présente un risque intrinsèque.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Éléments non armés</li> <li>Éléments remplaçables :                             <ul style="list-style-type: none"> <li>– éléments préfabriqués de petite taille pour les infrastructures routières et les revêtements</li> <li>– caillebotis</li> <li>– éléments linéaires préfabriqués (bordures, filets d'eau, p. ex.)</li> <li>– ...</li> </ul> </li> <li>Béton avec enduit protecteur</li> <li>Constructions temporaires</li> </ul>	Aucun	Aucun	Aucun
	PREV2 (par défaut)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Éléments de construction pour lesquels <b>les effets de la RAS sont peu acceptables</b>.</li> <li>La réparation ou le remplacement d'éléments détériorés a un impact économique et/ou sociétal non négligeable.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Béton structurel</li> <li>Barrières de sécurité</li> <li>Infrastructure routière coulée <i>in situ</i></li> <li>Éléments linéaires coulés sur place (bordures, rigoles, filets d'eau, p. ex.)</li> <li>Revêtement en béton coulé sur place pour les routes à faible ou moyen trafic</li> <li>Éléments préfabriqués de grande taille pour les revêtements de routes à faible ou moyen trafic</li> </ul>	Aucun	Mesure 1, 2, 3 ou 4	Mesure 1, 2, 3 ou 4
	PREV3	<ul style="list-style-type: none"> <li>Éléments de construction pour lesquels <b>les effets de la RAS sont pas acceptables</b>.</li> <li>La réparation ou le remplacement d'éléments détériorés a un impact économique et/ou sociétal substantiel.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Béton structurel pour les ouvrages élevés et/ou importants (immeubles et stades de football, p. ex.)</li> <li>Béton structurel pour travaux d'infrastructure (ponts, tunnels, murs de quai, ...)</li> <li>Chaussées en béton coulé sur place pour les routes à fort trafic</li> <li>Éléments préfabriqués de grande taille pour le revêtement des routes à trafic intense</li> </ul>	Aucun	Mesure 1, 3 ou 4	Mesure 1, 3+ ou 4+
<p><b>Mesures envisageables</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>Utilisation de granulats avec déclaration attestée de non-réactivité.</li> <li>Utilisation d'un ciment LA conforme à la norme NBN B 12-109 [B4] sans calcul d'un bilan alcalin.</li> <li>Limitation de la teneur en alcalis du béton à une valeur spécifiée (bilan alcalin).</li> <li>3+ Mesure 3 avec des exigences plus sévères.</li> <li>Réalisation d'un essai de gonflement visant à confirmer la durabilité de la composition d'un béton en matière de réaction alcali-silice.</li> <li>4+ Mesure 4 avec des exigences plus sévères.</li> </ol>						

## 7.3 Type de béton avec air entraîné pour les classes d'environnement EE3, EE4, ES2 et ES4

Pour les classes d'environnement EE3, EE4, ES2 et ES4, deux types de béton sont possibles : avec et sans air entraîné. Si le prescripteur souhaite un béton avec un entraîneur d'air, il doit le mentionner dans les exigences complémentaires. À noter que les bétons avec air entraîné ne peuvent s'utiliser pour des sols intérieurs talochés ou polis (voir § 9.3, p. 31). Par ailleurs, dans le cas des bétons fluides, la teneur en air est difficile à maîtriser. L'usage d'entraîneurs d'air est dès lors mieux adapté dans les bétons ayant une valeur d'affaissement cible préférentielle de 20 ou de 70 mm.

## 7.4 Classe d'absorption d'eau

Dans un souci d'amélioration de la durabilité, il est possible de demander un béton à faible absorption d'eau (déterminée suivant la norme NBN B 15-215 [B8]). L'annexe O de la norme NBN B 15-001 [B5] définit à cet effet cinq classes d'absorption d'eau par immersion, avec des exigences complémentaires. Chacune est désignée par les lettres WAI (*Water Absorption by Immersion*) suivies d'un nombre correspondant au rapport eau/ciment et, le cas échéant, de la lettre A (air entraîné). Ces classes sont toujours associées à un type de béton pour lequel elles sont applicables. Ainsi, la classe WAI(0,50) est applicable pour un type de béton T(0,50), par exemple, c'est-à-dire un béton présentant aussi une classe de résistance minimale C30/37 et une classe d'environnement EE3 (voir tableau 8).

Il convient d'attirer l'attention sur le fait que l'absorption d'eau ne donne pas d'indication directe quant à l'étanchéité d'un béton ou à sa résistance à la pénétration de l'eau. Elle permet néanmoins de contrôler indirectement la composition du béton (courbe granulométrique, teneur en ciment, rapport eau/ciment,...), qui est un facteur essentiel pour la durabilité du béton.

Les bétons à absorption d'eau limitée ne sont pas compatibles avec les exigences imposées pour la réalisation de bétons apparents ou de bétons pour sol talochés ou polis. Ils ne peuvent dès lors pas être spécifiés pour ces applications.

**Tableau 8** Classes de résistance et d'environnement minimales associées au type de béton applicable à chaque classe WAI.

	WAI(0,50)	WAI(0,50)A	WAI(0,45)	WAI(0,45)A	WAI(0,40)
Type de béton applicable	T(0,50)	T(0,50)A	T(0,45)	T(0,45)A	T(0,45)
Classe de résistance minimale d'usage pour ce type de béton	C30/37	C25/30	C35/45	C30/37	C35/45
Classe d'environnement minimale d'usage pour ce type de béton	EE3 et/ou EA2	EE3	EE4 et/ou EA3	EE4	EE4 et/ou EA3

## 7.5 Béton apparent

On appelle 'béton apparent' un béton coulé en place dont la surface est laissée visible. Ce type de béton doit satisfaire à des exigences esthétiques spécifiques définies dans la norme NBN B 15-007 [B7]. Cette dernière ne s'applique pas au béton préfabriqué ni à la partie supérieure non coffrée des planchers en béton coulé en place ayant éventuellement subi un traitement.

Si le béton est destiné à être utilisé comme béton apparent selon la définition de la norme NBN B 15-007 [B7], il est nécessaire de le spécifier afin que la centrale à béton puisse adapter la composition (teneur en fines, type de ciment, etc.). À cet effet, on notera en donnée complémentaire 'béton apparent selon la norme NBN B 15-007'. Les valeurs d'affaissement cibles préférentielles adaptées à ces bétons sont S180 ou S210.

## 7.6 Utilisation de granulats recyclés

Les granulats recyclés proviennent du concassage de débris issus de la démolition d'ouvrages d'art, de bâtiments, de routes, etc. On distingue, notamment, les granulats de béton recyclés (granulats concassés provenant du concassage du béton) et les granulats mixtes recyclés (mélange de granulats de béton et de maçonnerie recyclés).

L'utilisation de granulats recyclés dans le béton est autorisée en Belgique pour certaines classes d'environnement et d'exposition, à condition de ne pas dépasser les pourcentages maximaux de remplacement de la fraction grossière des granulats et de respecter certaines exigences. Différentes classes de granulats sont définies en fonction de ces exigences : les granulats recyclés de béton A+ et les granulats mixtes B+. Ceux-ci doivent être conformes, entre autres, à la classe FL<sub>2</sub> ( $\leq 2 \text{ cm}^3/\text{kg}$ ) en termes de volume du matériel flottant, selon la norme NBN EN 12620 [B17].

Pour certaines applications ( finition de surface de très haute qualité, sols intérieurs en béton, etc.), cette exigence n'est toutefois pas suffisamment sévère : les particules flottent à la surface après leur mise en œuvre et peuvent causer localement des problèmes (petits cratères, décollement). Par conséquent, l'utilisation de granulats de béton recyclés de type A+ appartenant à la classe FL<sub>0,2</sub> est recommandée pour ces applications particulières. Soulignons toutefois qu'une remontée à la surface de particules flottantes est toujours possible, même dans ce cas.

Pour spécifier un béton contenant des granulats recyclés, on ajoutera la donnée complémentaire suivante : 'granulats recyclés conformément à la norme NBN B 15-001'.

**Tableau 9** Pourcentage maximal de remplacement des gravillons (% volume) en fonction de la classe d'environnement pour le béton non armé et le béton armé\*.

Béton non armé				
	Classes d'environnement			
	E0, EI, EE1	EE2, EE3, ES1, ES2, ES3, EA1	EE4, ES4, EA2, EA3	
Granulat de béton de type A+	50 %	20 %	0 %	
Granulat mixte de type B+	20 %	0 %	0 %	
Béton armé				
	Classes d'environnement			
	EI	EE1	EE2, EE3, EA1	EE4, ES1, ES2, ES3, ES4, EA2, EA3
Granulat de béton de type A+	30 %	30 %	20 %	0 %
Granulat mixte de type B+	20 %	0 %	0 %	0 %
* Remarques :				
<ul style="list-style-type: none"> <li>les granulats de béton de type A+ peuvent être utilisés pour des classes de résistance à la compression <math>\leq C30/37</math></li> <li>les granulats mixtes de type B+ peuvent être utilisés pour des classes de résistance à la compression <math>\leq C20/25</math>.</li> </ul>				

## 7.7 Conditions de mise en œuvre

Il est également nécessaire de préciser les conditions de mise en œuvre, celles-ci ayant une influence sur la composition du béton à fabriquer par la centrale à béton.

### 7.7.1 Mode de déchargement du béton

Il convient de préciser le mode de déchargement du béton : cufa, déchargement direct, brouettes, pompage, ...

Si le béton doit être pompable, il y a lieu de le mentionner et d'indiquer la longueur de pompage (longueur de la flèche et des tuyaux de moins de 50 m ou de plus de 50 m, p. ex.). En effet, pour pouvoir être pompé, le béton doit répondre à certaines exigences au niveau de sa composition :

- une courbe granulométrique continue
- une bonne cohésion et un faible ressuage
- une valeur d'affaissement cible préférentielle S180 ou S210 idéalement. Il est toutefois possible de pomper des bétons présentant des valeurs d'affaissement cibles préférentielles S70 et S120, à condition d'adapter leur composition
- une quantité minimale de fines (fraction de 0 à 0,250 mm, y compris le ciment) en rapport avec la dimension nominale du plus gros granulats D.

Si l'on recourt à une pompe compacte de type 'city pompe', la dimension nominale du plus gros granulats devra être adaptée (voir chapitre 6, p. 13). Ces pompes sont notamment utilisées en milieu urbain pour remplacer une pompe standard lorsque l'on manque de place (pour estimer l'espace nécessaire, on tiendra compte de la surface du camion et de son empattement). Il importe donc également de mentionner l'utilisation de ce type de pompe lors de la commande.

À noter que la consistance spécifiée est celle en fin de pompe dans le cas où la pompe est fournie par la centrale à béton. Si la pompe n'est pas fournie par la centrale, il s'agit de la consistance avant le pompage, à la sortie du camion-malaxeur.

### 7.7.2 Durée de déchargement du béton : délai de mise en œuvre et maintien de la consistance

Afin de conserver les propriétés du béton et de permettre une mise en place et un serrage aisés, il est essentiel que le béton soit coulé dès que possible après son malaxage.

En pratique, un **délai garanti de mise en œuvre** est spécifié sur le bon de livraison. Il est défini comme suit dans la norme NBN B 15-400 [B9] : 'Durée à partir du premier contact entre le ciment et l'eau durant laquelle le béton ne fera prise en aucun cas. Durant cette période, le béton peut être travaillé (le béton peut être coulé, serré et une cure peut être appliquée) sans conséquence négative sur la résistance en compression et la durabilité du béton. Outre le temps de mise en place, le délai garanti de mise en œuvre mentionné sur le bon de livraison inclut donc le temps nécessaire pour la confection, le transport vers le chantier, le transport sur le chantier (cufa, pompe, ...) et les temps d'attente en centrale et sur chantier. Par défaut, il est de 100 ou 120 minutes selon le type de ciment.'

Le délai garanti de mise en œuvre ne donne aucune garantie sur le **maintien de la consistance** du béton dans le temps durant cette période. Toutefois, la classe de consistance doit être maintenue au moins durant 30 minutes après l'arrivée sur chantier dès le début du déchargement (dans le cas d'ajout de superplastifiant sur chantier, après ajout et remalaxage de celui-ci dans le camion-malaxeur), compte tenu de la composition et de la température du béton. Le 'temps du maintien de la consistance' TC est le laps de temps durant lequel la valeur de la consistance spécifiée est garantie à partir du début du déchargement. Il s'élève normalement à 30 minutes (TC30).

La réalisation de pièces complexes peut nécessiter un bétonnage de longue durée. Dans ce cas, il est recommandé de prévoir des livraisons en quantité limitée pour pouvoir mettre le béton en œuvre dans le délai pendant lequel la consistance est maintenue, c'est-à-dire endéans 30 minutes. Si une durée de maintien de la consistance supérieure à 30 minutes est requise, celle-ci est spécifiée lors de la commande et indiquée sur le bon de livraison sous la forme 'TCz', où z est le nombre de minutes pendant lesquelles la consistance est garantie depuis le début du déchargement.

En cas de déchargement de longue durée, des adjuvants retardateurs de prise peuvent être utilisés. Le délai garanti de mise en œuvre est ainsi allongé. Ces produits doivent être incorporés dans le béton dans les 60 minutes après le premier contact entre le ciment et l'eau. Si l'on prévoit l'utilisation d'un retardateur de prise dans la composition, le bon de livraison doit mentionner le délai total garanti de mise en œuvre.

### 7.7.3 Accessibilité du chantier pour le camion-malaxeur

Les centrales livrent souvent le béton avec des camions semi-remorques d'une capacité de l'ordre de 11 m<sup>3</sup>. Si l'accessibilité du chantier est limitée, il convient de prévoir des malaxeurs plus petits, ce qui peut engendrer des coûts supplémentaires. Cet élément doit être mentionné lors de la commande.

# 8. Spécification des bétons spéciaux

## 8.1 Béton autoplaçant

La spécification d'un béton autoplaçant (BAP) s'effectue de la même façon qu'un béton traditionnel, à l'exception de la valeur d'affaissement cible préférentielle et d'autres données complémentaires.

Dans le cas des BAP, la valeur d'affaissement cible préférentielle (voir tableau 1, p. 5, et tableau 5, p. 12) doit être remplacée par une classe d'étalement au cône d'Abrams (*slump flow*, SF) (voir tableau 10 et figure 4).

Parmi les données complémentaires (données complémentaires E dans le tableau 1, p. 5), il est recommandé de spécifier, en fonction de l'application :

- la classe de viscosité apparente (VS ou VF)
- la classe d'aptitude à l'écoulement (PL ou PJ)
- la classe de résistance à la ségrégation (SR)
- d'autres exigences, telles que le temps de maintien de la consistance.

La **classe d'étalement au cône d'Abrams** est la seule donnée de base imposée pour spécifier un BAP à l'état frais. Or, celle-ci n'est souvent pas suffisante pour prescrire un BAP en fonction de l'application visée. La classe de viscosité apparente est également un paramètre déterminant. En effet, un béton peut être très fluide et s'écouler loin (classe d'étalement SF3) tout en étant faiblement ou très visqueux (respectivement classes de viscosité VF1 et VF2). Dans ce dernier cas, il s'écoulera donc lentement, mais loin.

Une **classe de viscosité** élevée peut être utile en vue de limiter la pression sur le coffrage ou d'améliorer la résistance à la ségrégation. Une classe de viscosité faible peut se révéler intéressante lorsqu'un état de surface de haute qualité est requis ou lorsque la densité d'armatures est importante.

L'**aptitude à l'écoulement** est associée à la capacité du mélange à l'état frais à s'écouler sans perte d'homogénéité ou sans provoquer de blocage par des zones confinées et par des ouvertures étroites (zones de forte densité de ferrailage, p. ex.).

La **résistance à la ségrégation** est fondamentale pour juger l'homogénéité et la qualité du BAP.



Fig. 4 Mesure de l'étalement au cône d'Abrams (*slump flow*).

Tableau 10 Classe d'étalement au cône d'Abrams sur la base des mesures effectuées suivant la norme NBN EN 12350-8 [B16].

Classe d'étalement	Étalement [mm]
SF1	550 à 650
SF2	660 à 750
SF3	760 à 850

Le tableau 11 illustre les classes SF, VS et VF à considérer pour spécifier un BAP en fonction de différentes applications. Il est évident que d'autres classes (aptitude à l'écoulement en milieu confiné et résistance à la ségrégation) peuvent être spécifiées en fonction des conditions de confinement spécifiques, de la géométrie de l'élément, de la méthode de mise en œuvre ou des caractéristiques des matériaux utilisés dans le béton. Un béton autoplaçant peut, par exemple, être spécifié comme suit : béton conforme aux normes NBN EN 206 [B11] et NBN B 15-001 [B5], C30/37, BA, EE3, SF2, D = 16 mm.

Lors de la livraison, il est recommandé d'effectuer un contrôle de l'étalement au cône d'Abrams et de la viscosité apparente si celle-ci a été spécifiée.

**Tableau 11** Exemples de spécification des BAP pour différentes applications.

Classe de viscosité apparente	Classe d'étalement au cône d'Abrams		
	SF1	SF2	SF3
VS2 VF2	RAMPES		
VS1 ou VS2 VF1 ou VF2	MURS ET PILIERS		
VS1 VF1	SOLS ET DALLES		

## 8.2 Béton fibré

Le béton fibré est un béton auquel on ajoute des fibres métalliques ou synthétiques – appelées également fibres de polymère – au moment de la fabrication, afin d'améliorer son comportement. Les fibres métalliques et synthétiques n'ont pas le même usage. Pour certaines applications (sols intérieurs en béton, couche de compression, fondations telles que les semelles ou les radiers), l'armature peut être partiellement ou totalement remplacée par des fibres métalliques.

Les propriétés du béton fibré dépendent notamment de l'obtention d'une répartition uniforme et homogène des fibres. Pour cette raison, la centrale devra adapter la composition du béton (limitation de la dimension nominale du plus gros granulat (voir chapitre 6, p. 13), granulométrie, teneurs en fines et en liant, ...) et opter pour des méthodes d'ajout et de mélange des fibres adéquates.

Dans le cas d'un béton fibré, les données suivantes doivent être spécifiées.

### 8.2.1 Classe de résistance à la compression du béton

Une classe de résistance à la compression doit être spécifiée comme décrit au chapitre 2 (p. 6).

### 8.2.2 Domaine d'utilisation du béton

Si des fibres métalliques sont ajoutées, le béton est considéré comme un béton armé.

Dans le cas où le béton contient un autre type de fibres (fibres de polymère, ...) et en l'absence d'armatures, il est considéré comme non armé.

## 8.2.3 Classe d'environnement du béton

Une classe d'environnement doit être spécifiée comme décrit au chapitre 4 (p. 8).

## 8.2.4 Valeur d'affaissement cible préférentielle du béton

Une valeur d'affaissement cible préférentielle doit être spécifiée comme décrit au chapitre 5 (p. 11).

## 8.2.5 Dimension nominale du plus gros granulat

La dimension nominale du plus gros granulat est limitée à 22 mm ou à 16 mm, et ce, en fonction du type de fibres et du dosage en fibres suivant le tableau 6 (voir chapitre 6, p. 14).

## 8.2.6 Données complémentaires : type, dosage et fonction des fibres ou performance

Deux méthodes existent pour prescrire un béton fibré conformément aux normes NBN EN 206 [B11] et NBN B 15-001 [B5]. Elles consistent à mentionner dans les données complémentaires :

- soit le type de fibres (acier, synthétique, ...), leur dosage et leur fonction (application structurale ou non structurale)
- soit la performance requise, exprimée sous la forme d'une classe de performance de ductilité.

La seconde méthode est valable uniquement pour les applications structurales.

# 9. Spécification des bétons pour éléments particuliers

Pour la réalisation de certains éléments particuliers, le béton utilisé doit disposer de caractéristiques spécifiques. Nous détaillons dans ce chapitre les données à spécifier qui sont liées à la particularité de ces éléments. Les données complémentaires telles que celles citées au chapitre 7 (p. 15) ne sont pas reprises. Il y a toutefois lieu de les préciser si nécessaire. On pense notamment aux mesures de prévention en matière de réaction alcali-silice, au type de ciment résistant aux sulfates, etc.

## 9.1 Béton pour fondations à faible profondeur

Différents types de fondation à faible profondeur sont considérés ici :

- les fondations pour construction légère : terrasse, abri de jardin, ... Les auvents pour voitures (carports) et les box de garage ne sont pas assimilés à des constructions légères dans ce cadre
- les semelles (isolées (plots) ou filantes), les ceintures
- les radiers.

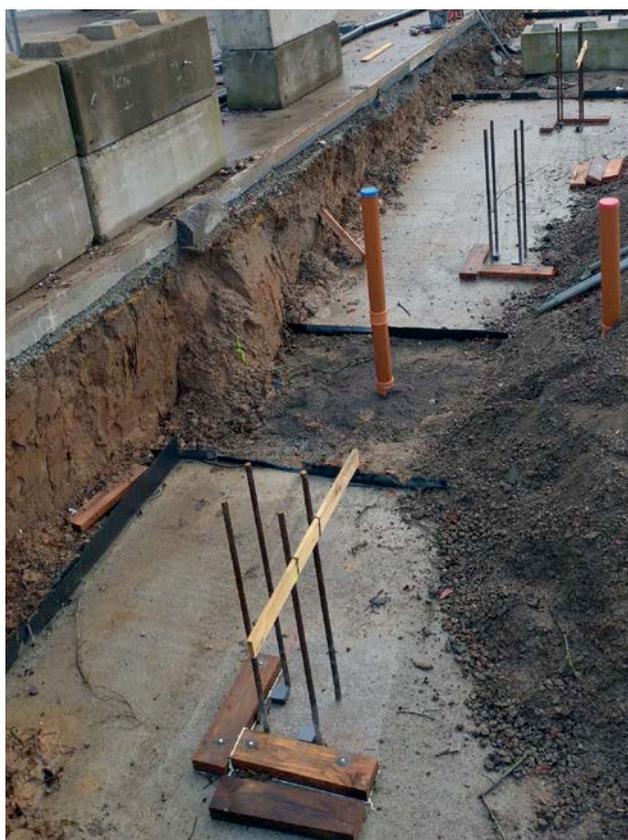


Fig. 5 Fondations de type 'plot large' (caissons).

## 9.1.1 Classe de résistance à la compression

Étant donné les classes d'environnement recommandées (voir § 9.1.3), les classes de résistance minimales seront telles que décrites au tableau 12.

**Tableau 12** Classe de résistance à la compression minimale en fonction du type de fondation à faible profondeur.

Type de fondation à faible profondeur		Classe de résistance à la compression minimale
Fondation pour construction légère		C 25/30
Semelle (isolée (plot) ou filante), ceinture et radier :	non exposé au gel	C 20/25
	exposé au gel	C 25/30

## 9.1.2 Domaine d'utilisation

Les bétons pour fondations à faible profondeur sont très souvent armés, que ce soit avec des armatures ou des fibres métalliques (voir § 8.2, p. 23).

## 9.1.3 Classe d'environnement

La classe d'environnement à spécifier est donnée au tableau 13.

On spécifiera éventuellement aussi une classe d'environnement chimiquement agressif (voir chapitre 4, p. 8).

**Tableau 13** Classe d'environnement en fonction du type de fondation à faible profondeur.

Type de fondation à faible profondeur		Classe d'environnement
Fondation pour construction légère		EE2
Semelle (isolée (plot) ou filante), ceinture et radier :	non exposé au gel	EE1
	exposé au gel	EE2

## 9.1.4 Valeur d'affaissement cible préférentielle

Pour les fondations à faible profondeur considérées ici, la valeur d'affaissement cible préférentielle est généralement S220. On peut également spécifier la classe de consistance S5 à la place de la valeur d'affaissement cible préférentielle.

## 9.1.5 Dimension nominale du plus gros granulat

La dimension nominale du plus gros granulat doit être spécifiée comme décrit au chapitre 6 (p. 13).

## 9.1.6 Données complémentaires

En ce qui concerne les données complémentaires à spécifier, on se référera au chapitre 7 (p. 15). Les données complémentaires susceptibles d'être requises pour les fondations à faible profondeur sont notamment :

- les mesures de prévention en matière de réaction alcali-silice : PREV2/AR2 (voir § 7.1, p. 15)
- un type de ciment résistant aux sulfates, selon les teneurs en sulfates dans le sol (voir § 7.2, p. 16)
- un type de ciment à faible chaleur d'hydratation (LH – *Low Heat*) pour éviter les fissures thermiques dans le cas de radiers massifs (épaisseur supérieure à 50 cm)
- le type, le dosage et la fonction des fibres ou la performance (voir § 8.2.6, p. 24) si le béton est fibré. À noter que, dans ce cas, la dimension nominale du plus gros granulat est limitée à 22 mm ou à 16 mm, et ce, en fonction du type de fibres et du dosage en fibres suivant le tableau 6 (voir chapitre 6, p. 14).

## 9.2 Béton pour ouvrages géotechniques spéciaux

Le bétonnage d'ouvrages géotechniques spéciaux tels que des pieux ou des parois moulées nécessite une composition de béton adaptée. En effet, ce béton doit :

- présenter une grande résistance à la ségrégation
- posséder une plasticité adéquate et une ouvrabilité suffisante : il doit s'écouler facilement
- être apte à être serré de manière adéquate sous l'effet de la gravité
- être suffisamment maniable pendant toute la durée du bétonnage.

Ainsi, les dispositions relatives à la teneur en ciment, à la teneur minimale en fines, au rapport eau/ciment maximal, à la consistance et au maintien de celle-ci dans le temps peuvent s'écarter des dispositions standard applicables à d'autres ouvrages. Il est donc primordial de stipuler que le béton doit être conforme aux dispositions spécifiques de l'annexe D des normes NBN EN 206 [B11] et NBN B 15-001 [B5].

À noter que les micropieux et les inclusions rigides ne sont pas considérés dans ce document.

### 9.2.1 Béton pour parois moulées

Les données suivantes sont à spécifier pour le bétonnage de parois moulées réalisées conformément à la norme NBN EN 1538 [B14].

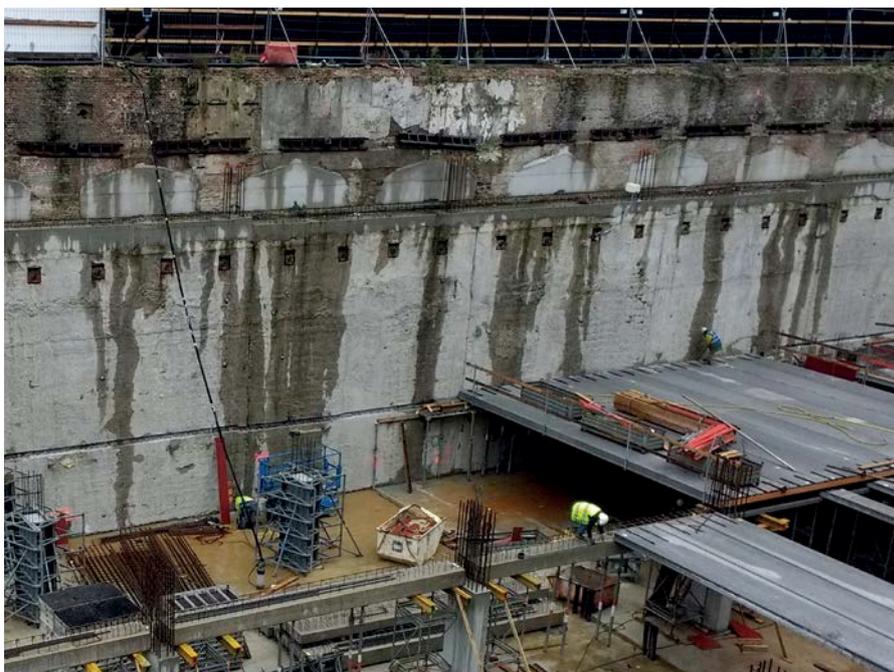


Fig. 6 Paroi moulée.

### 9.2.1.1 Classe de résistance à la compression

Étant donné la classe d'environnement recommandée pour les parois moulées (voir § 9.2.1.3), la classe de résistance devra être au minimum une classe C25/30.

### 9.2.1.2 Domaine d'utilisation

Les parois moulées sont toujours réalisées en béton armé.

### 9.2.1.3 Classe d'environnement

Les parois moulées doivent présenter au minimum une classe d'environnement EE1 (environnement extérieur sans gel). On spécifiera éventuellement aussi une classe d'environnement chimiquement agressif (voir chapitre 4, p. 8).

### 9.2.1.4 Valeur d'affaissement cible préférentielle

Pour les parois moulées, une valeur d'affaissement cible préférentielle S220 mm est généralement spécifiée. Une classe de consistance S5 peut également être spécifiée à la place de cette valeur.

### 9.2.1.5 Dimension nominale du plus gros granulat

La dimension nominale du plus gros granulat ne doit pas dépasser :

- $\frac{1}{4}$  de l'espace libre entre les armatures longitudinales. Dans le cas des parois moulées, l'espacement horizontal à nu des barres longitudinales est de minimum 100 mm (80 mm si la dimension nominale du plus gros granulat ne dépasse pas 20 mm)
- $\frac{1}{6}$  du diamètre intérieur du tube plongeur ou du tube d'alimentation du béton (le diamètre intérieur du tube plongeur doit être de 150 mm au moins).

### 9.2.1.6 Données complémentaires

#### 9.2.1.6.1 Béton pour parois moulées conforme à l'annexe D des normes NBN EN 206 et NBN B15-001

Dans les spécifications d'un béton destiné à la réalisation de parois moulées, il convient tout d'abord d'indiquer l'application (paroi moulée) et la conformité à l'annexe D des normes NBN EN 206 [B11] et NBN B15-001 [B5].

#### 9.2.1.6.2 Maintien de la consistance

En règle générale, la réalisation des parois moulées requiert un bétonnage de longue durée. Si une durée de maintien de la consistance supérieure à la valeur par défaut de 30 minutes (voir § 7.7.2, p. 20) est nécessaire à une mise en œuvre adéquate, cet élément doit être spécifié dans les données complémentaires. En général, un maintien de l'ouvrabilité TC180 min ou TC240 min est exigé pour les parois moulées.

### 9.2.1.6.3 Cadence de livraison

Le bétonnage doit s'effectuer régulièrement de façon à ce que le fluide d'excavation soit correctement chassé par le béton. On exige en général une cadence de 50 m<sup>3</sup>/h pour les parois moulées.

### 9.2.1.6.4 Ressuage

Les bétons pour parois moulées étant coulés sur de grandes hauteurs, une attention particulière sera apportée à la stabilité du béton et à l'absence de ressuage. Des exigences complémentaires visant à limiter le ressuage peuvent être convenues au préalable entre les différentes parties. À cet effet, il peut être fait référence :

- à la norme à la NBN EN 480-4 [B12] (détermination de la quantité d'eau de ressuage du béton). Une valeur limite de 1 % est souvent utilisée comme critère
- au Bauer test (essai de filtration sous pression) suivant le guide CIA Z17-2012 [C1], avec l'équipement décrit dans la norme NBN EN ISO 10414-1 [B23]. Une valeur limite de 22 ml (ou de 15 l/m<sup>3</sup>) est souvent définie comme critère.

### 9.2.1.6.5 Autres données complémentaires

En ce qui concerne les autres données complémentaires à spécifier, on se référera au chapitre 7 (p. 15). Les données complémentaires qui peuvent être requises pour la spécification du béton pour parois moulées sont notamment :

- les mesures de prévention en matière de réaction alcali-silice : PREV2/AR2 ou PREV3/AR3 selon l'application finale de l'élément de construction (si impact économique et/ou sociétal substantiel dû à la détérioration de la structure à la suite d'une réaction alcali-silice) (voir § 7.1, p. 15)
- un type de ciment résistant aux sulfates, selon les teneurs en sulfates dans le sol (voir § 7.2, p. 16).

## 9.2.2 Béton pour pieux

Les données suivantes sont à spécifier pour le bétonnage de pieux forés réalisés conformément à la norme NBN EN 1536 [B13] et de pieux avec refoulement du sol exécutés selon la norme NBN EN 12699 [B18].



Fig. 7 Pieux sécants excavés.

### 9.2.2.1 Classe de résistance à la compression

Étant donné la classe d'environnement recommandée pour les pieux (voir § 9.2.2.3), la classe de résistance devra être au minimum une classe C25/30.

### 9.2.2.2 Domaine d'utilisation

Les pieux sont toujours réalisés en béton armé.

### 9.2.2.3 Classe d'environnement

Les pieux doivent présenter une classe d'environnement EE1 (environnement extérieur sans gel) au moins. On spécifiera aussi éventuellement une classe d'environnement chimiquement agressif (voir chapitre 4, p. 8).

### 9.2.2.4 Valeur d'affaissement cible préférentielle

Pour les pieux, une valeur d'affaissement cible préférentielle S180 mm ou S210 mm est généralement spécifiée. Une classe de consistance S4 peut également être spécifiée à la place de ces valeurs.

### 9.2.2.5 Dimension nominale du plus gros granulat

#### 9.2.2.5.1 Pieux forés

En ce qui concerne les pieux forés, la dimension nominale du plus gros granulat ne doit pas dépasser :

- $\frac{1}{4}$  de l'espace libre entre les armatures longitudinales. Dans ce cas, l'espacement horizontal à nu des barres longitudinales est de minimum 100 mm (80 mm si la dimension nominale du plus gros granulat ne dépasse pas 20 mm) et de maximum 400 mm
- $\frac{1}{6}$  du diamètre intérieur du tube plongeur ou du tube d'alimentation du béton (le diamètre intérieur du tube plongeur doit être de minimum 150 mm) dans le cas de conditions de bétonnage immergées (voir § 9.2.2.6.2, p. 31).

#### 9.2.2.5.2 Pieux avec refoulement du sol

Dans le cas des pieux avec refoulement du sol, la dimension nominale du plus gros granulat ne doit pas dépasser  $\frac{1}{3}$  de l'espace libre entre les armatures longitudinales. L'espacement horizontal à nu des barres longitudinales est de minimum 50 mm.

### 9.2.2.6 Données complémentaires

#### 9.2.2.6.1 Béton pour pieux conforme à l'annexe D des normes NBN EN 206 et NBN B15-001

Dans les spécifications d'un béton destiné à la réalisation de pieux, il convient tout d'abord d'indiquer l'application (pieux), le type de pieux et la conformité à l'annexe D des normes NBN EN 206 [B11] et NBN B15-001 [B5].

### 9.2.2.6.2 Conditions de bétonnage

Les conditions de bétonnage influencent certains paramètres de la composition du béton tels que la teneur en ciment ou la dimension nominale du plus gros granulat (voir § 9.2.2.5, p. 30). C'est pourquoi il est nécessaire de spécifier si les conditions de bétonnage sont immergées ou sèches dans le cas des pieux forés. Les pieux avec refoulement du sol sont, quant à eux, considérés comme étant bétonnés dans des conditions sèches.

On entend par 'conditions de bétonnage immergées' un bétonnage avec tube plongeur sous eau ou sous fluide stabilisateur. Les conditions de bétonnage sèches correspondent à un bétonnage dans un élément provisoire remonté par la suite (tubage, tarière continue creuse, etc.) ou dans un tubage permanent. Cette définition n'est donc pas basée sur les conditions du sol ni sur le fait que le niveau de bétonnage se trouve en dessous du niveau de la nappe phréatique.

### 9.2.2.6.3 Maintien de la consistance

La réalisation des pieux requiert souvent un bétonnage de longue durée. Si une durée de maintien de la consistance supérieure à la valeur par défaut de 30 minutes (voir § 7.7.2, p. 20) est nécessaire à une mise en œuvre adéquate – ce qui est souvent le cas pour ces applications – cet élément doit être spécifié dans les données complémentaires au travers d'une exigence TCz, où z est le nombre de minutes pendant lesquelles la consistance est garantie depuis le début du déchargement.

### 9.2.2.6.4 Introduction de l'armature après bétonnage

Selon que l'armature est introduite avant ou après le bétonnage du pieu, la composition du béton devra être adaptée. C'est pourquoi il y a lieu de le spécifier lors de la commande.

### 9.2.2.6.5 Autres données complémentaires

En ce qui concerne les autres données complémentaires à spécifier, on se référera au chapitre 7 (p. 15). Les données complémentaires qui peuvent être requises pour la spécification du béton pour pieux sont notamment :

- les mesures de prévention en matière de réaction alcali-silice : PREV2/AR2 ou PREV3/AR3 selon l'application finale de l'élément de construction (si impact économique et/ou sociétal substantiel dû à la détérioration de la structure à la suite d'une réaction alcali-silice) (voir § 7.1, p. 15)
- un type de ciment résistant aux sulfates, selon les teneurs en sulfates dans le sol (voir § 7.2, p. 16).

## 9.3 Béton pour sols intérieurs

Dans le cas des sols intérieurs, il est absolument nécessaire d'imposer certaines exigences au béton afin d'assurer sa bonne réalisation et sa durabilité. Pour plus d'informations à ce sujet, on consultera la [NIT 267 'Sols intérieurs en béton'](#) [B2].

## 9.3.1 Classe de résistance à la compression

La classe de résistance à la compression du béton doit être spécifiée sur la base des hypothèses de conception. Pour les sols intérieurs en béton, un choix en fonction des charges conduit généralement à l'une des trois classes de résistance à la compression suivantes :

- C25/30 : pour les espaces d'habitation, de réunion, de commerce et de bureaux ainsi que les sols soumis à des contraintes légères à moyennes dans les espaces de stockage et les espaces à usage industriel (voir tableau 14)
- C30/37 : pour les sols soumis à des contraintes lourdes dans les espaces de stockage et les espaces à usage industriel (voir tableau 14)
- C35/45 : pour des situations particulières nécessitant de meilleures performances en raison de charges spécifiques élevées.

**Tableau 14** Exemples indicatifs d'espaces de stockage et d'espaces à usage industriel et leurs charges.

Classe	Exemples d'application	Charge
Légère	<ul style="list-style-type: none"><li>• Rayonnages d'une hauteur maximale de 5 m</li><li>• Élévateurs avec charge de levage <math>\leq 15</math> kN</li></ul> P. ex. : dans les ateliers pour industrie légère, les chambres frigorifiques	<ul style="list-style-type: none"><li>• <math>q_k \leq 15</math> kN/m<sup>2</sup></li><li>• <math>Q_k \leq 20</math> kN</li></ul>
Moyenne	<ul style="list-style-type: none"><li>• Rayonnages entre 5 et 10 m de haut</li><li>• Élévateurs avec charge de levage : 15-80 kN</li></ul> P. ex. : dans les entrepôts de marchandises en vrac, l'industrie papier, les ateliers de réparation	<ul style="list-style-type: none"><li>• <math>15</math> kN/m<sup>2</sup> &lt; <math>q_k</math> &lt; <math>50</math> kN/m<sup>2</sup></li><li>• <math>20</math> kN &lt; <math>Q_k</math> &lt; <math>85</math> kN</li></ul>
Lourde	<ul style="list-style-type: none"><li>• Rayonnages de plus de 10 m de haut</li><li>• Élévateur avec charge de levage <math>\geq 80</math> kN</li><li>• Véhicules spéciaux (avions, p. ex.)</li></ul> P. ex. : dans les espaces de stockage de marchandise en vrac, les entrepôts avec rayonnages élevés et les ateliers pour l'industrie lourde, travail du métal	<ul style="list-style-type: none"><li>• <math>q_k \geq 50</math> kN/m<sup>2</sup></li><li>• <math>Q_k \geq 85</math> kN</li></ul>

Lors de la conception, il y a lieu de vérifier si la classe d'environnement implique une classe de résistance à la compression minimale du béton supérieure à celle prévue lors du dimensionnement. Le cas échéant, il convient d'adapter cette dernière en conséquence ainsi que certains autres éléments de conception (dimensionnement, p. ex.).

## 9.3.2 Domaine d'utilisation

Les sols intérieurs sont toujours réalisés en béton armé.

## 9.3.3 Classe d'environnement

Les sols intérieurs en béton appartiennent à la classe d'environnement EE en raison des contraintes spécifiques auxquelles ils sont soumis durant leur utilisation (usure, humidification régulière, gel, etc.). Les descriptions des différentes classes d'environnement de la norme NBN B15-001 [B5] doivent être interprétées de manière spécifique dans le cas des sols intérieurs en béton. Par conséquent, les exemples du tableau 15 (p. 33) diffèrent légèrement de ceux de la norme. Ce tableau contient quelques exemples d'application de sols en béton et de la classe d'environnement recommandée à préciser.

En cas de contact avec un environnement chimiquement agressif, il convient d'indiquer une classe d'environnement EA supplémentaire en fonction de l'agressivité (voir tableau 3, chapitre 4, p. 10). Par ailleurs, la [NIT 267](#) [B2] fournit une liste non exhaustive des acides pouvant affecter le béton en cas de contact direct (voir tableau 16, p. 33). Dans chaque cas, une indication de leur degré d'agressivité par rapport au béton est donnée en se référant à la classe d'environnement la plus appropriée (environnement agressif). L'agressivité est en réalité déterminée par la nature et la concentration des acides ainsi que par la température et le débit ou le taux de renouvellement.

**Tableau 15** Exemples d'applications des sols en béton avec les classes d'environnement correspondantes à spécifier.

Exemples	Classe d'environnement recommandée à spécifier
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Locaux d'habitation, de réunion, de commerce et de bureaux</li> <li>• Sols dans les espaces de stockage et les espaces à usage industriel à faible humidité de l'air</li> </ul>	EE1
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sols dans les espaces de stockage et les espaces à usage industriel à humidité de l'air moyenne à élevée ou fréquemment en contact direct avec de l'eau</li> </ul>	EE2
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sols dans les espaces de stockage et à usage industriel exposés au gel et à l'eau</li> </ul>	EE3
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sols dans les espaces de stockage et les espaces à usage industriel exposés aux sels de déneigement</li> <li>• Sols dans les garages et les zones de circulation de véhicules (bâtiments tant souterrains qu'aériens et tant ouverts que fermés)</li> </ul>	EE4

**Tableau 16** Classes d'environnement recommandées en fonction du type d'acide.

Produit	Exemples	Degré d'agressivité (classe d'environnement correspondante)
<b>Acide sulfurique</b>	Batteries de voiture, déboucheur, égouts	EA3*
<b>Acide nitrique</b>	Décapant	EA3*
<b>Acide chlorhydrique</b>	Tannerie, nettoyage industriel	EA3*
<b>Acide phosphorique</b>	Engrais chimiques	EA2
<b>Acide fluorhydrique</b>	Réactif, nettoyage industriel	EA3*
<b>Acide carbonique</b>	Soda, eau gazeuse	EA1
<b>Acide lactique</b>	Fourrage ensilé, laiterie, tannerie, teinturerie	EA3
<b>Acide acétique</b>	Chimie de polymérisation (colles, plastiques), vinaigre, moutarde	EA3
<b>Acide citrique et malique</b>	Vin, détergent, agrume, photographie, cosmétiques	EA3
<b>Acide formique</b>	Tannerie, détergent, conservateur	EA2
<b>Acide tannique</b>	Tannerie, teinturerie, photographie, pharmacie	EA2
<b>Acide butyrique</b>	Fourrage ensilé, beurre, tannerie, teinturerie	EA2
<b>Acide humique</b>	Engrais, tourbes	EA2
<b>Phénol (= acide phénique)</b>	Médicaments	EA2 – EA3
<b>Acide urique</b>	Fientes d'oiseaux, étables, urinoirs	EA2 – EA3

\* Une protection supplémentaire est indispensable.

## 9.3.4 Valeur d'affaissement cible préférentielle

Pour les sols intérieurs en béton, une valeur d'affaissement cible préférentielle S210 est généralement spécifiée, en fonction de l'application. Une classe de consistance S5 peut également être spécifiée à la place de cette valeur.

Si le béton pour sol est mis en œuvre au moyen d'une poutre vibrante (*laser screed*), on indiquera une valeur d'affaissement cible préférentielle S180 ou une classe de consistance S4.

## 9.3.5 Dimension nominale du plus gros granulat

En règle générale, on choisit une dimension nominale du plus gros granulat  $D$  inférieure à :

- $\frac{1}{5}$  de l'épaisseur de la dalle
- $\frac{3}{4}$  du plus petit écartement entre les barres d'armatures (en cas d'armatures soudées, 1,5 fois la plus petite distance)
- l'enrobage
- 16 mm en cas d'ajout de fibres lorsque la teneur en fibres est supérieure à  $35 \text{ kg/m}^3$
- 16 mm en cas d'utilisation d'une pompe compacte de type 'city pompe' (voir chapitre 6, p. 13).

## 9.3.6 Données complémentaires

### 9.3.6.1 Béton pour sols intérieurs selon la NIT 267

Dans les spécifications d'un béton destiné à la réalisation d'un sol intérieur en béton, il convient tout d'abord d'indiquer l'application (sol) ainsi que la finition de surface prévue.

### 9.3.6.2 Teneur en eau et en ciment

Le béton pour sols intérieurs doit présenter une teneur adéquate en eau et en ciment. La fraction de mortier (ciment + adjuvants + eau + sable) du mélange doit être suffisamment grande pour obtenir l'ouvrabilité élevée requise et pour permettre une finition de surface correcte. Outre les valeurs limites relatives à la durabilité, il est donc nécessaire de prévoir une teneur minimale effective en eau de  $180 \text{ l/m}^3$  ainsi qu'une teneur minimale effective en ciment de  $320 \text{ kg/m}^3$ .

Dans le cas d'un béton de classe d'environnement EE4, le rapport maximal eau/ciment de 0,45 et la teneur en eau effective minimale de  $180 \text{ l/m}^3$  impliquent une teneur en ciment minimale de  $400 \text{ kg/m}^3$ . Le tout s'accompagne d'une teneur très élevée en fines, ce qui donne un mélange de béton cohésif et visqueux, difficile à mettre en œuvre et à parachever, mais aussi sensible à la dessiccation de la surface et à la fissuration due au retrait. Par conséquent, il y a lieu d'ajouter d'importantes quantités d'adjuvants afin d'obtenir la valeur d'affaissement cible préférentielle souhaitée, ce qui entraîne un risque accru de teneur élevée en air à la suite d'un ajout d'air indésirable. Il est donc vivement déconseillé d'appliquer une finition à l'aide d'un mélange sec pour couches d'usure.

### 9.3.6.3 Teneur en air

Même si aucun entraîneur d'air n'a été ajouté, le béton peut toutefois contenir de petites bulles d'air ( $< 0,5 \text{ mm}$  de diamètre), qui ne sont pas éliminées ou seulement en partie, même par compactage. Les petites bulles d'air peuvent s'accumuler sous une couche superficielle dense pendant le compactage et la finition de surface (talochage ou polissage), créant des zones faibles qui, en raison du retrait du béton et de l'utilisation du sol, peuvent finalement entraîner la délamination de la couche superficielle. Par conséquent, il y a lieu d'imposer une teneur maximale en air de 3,0 % pour les sols en béton talochés ou lissés. Dans ce cas, l'utilisation d'entraîneurs d'air n'est pas admissible.

### 9.3.6.4 Granulométrie

En vue d'éviter les problèmes de ségrégation et de ressuage du béton et de limiter son retrait, il convient d'utiliser un mélange stable dans lequel le squelette inerte (sable et gros granulats) présente une granulométrie régulière. L'Annexe A de la [NIT 267](#) [B2] indique des valeurs limites pour la taille des granulats inertes ( $\geq 63 \mu\text{m}$ ) en fonction du type de granulats et de la dimension nominale du plus gros granulat  $D$  du béton mis

en œuvre. On tiendra compte d'un éventuel renforcement au moyen de fibres (voir § 9.3.6.5), généralement en réduisant la quantité de granulats grossiers (> 4 mm). On spécifiera donc comme donnée complémentaire 'squelette inerte selon l'Annexe A de la NIT 267'.

### 9.3.6.5 Autres données complémentaires

En ce qui concerne les données complémentaires à spécifier, on se référera au chapitre 7 (p. 15). Les données complémentaires qui peuvent être requises pour la spécification du béton pour sols intérieurs sont notamment :

- les mesures de prévention en matière de réaction alcali-silice (voir § 7.1, p. 15)
- le type, le dosage et la fonction des fibres ou la performance (voir § 8.2.6, p. 24) si le béton est fibré. À noter que dans ce cas, la dimension nominale du plus gros granulats est limitée à 22 mm ou à 16 mm, en fonction du type de fibres et du dosage en fibres suivant le tableau 6 (voir chapitre 6, p. 13).

## 9.3.7 Exemples

Le tableau 17 donne quelques exemples de spécifications courantes du béton pour sols intérieurs non exposés aux attaques chimiques.

**Tableau 17** Exemples de spécifications courantes du béton pour sols intérieurs.

Mention 'Béton conforme aux normes NBN EN 206 et NBN B 15-001'					
Donnée A Classe de résistance	Donnée B1 Domaine d'utilisation	Donnée B2 Classe d'environnement	Donnée C Valeur d'affaissement cible préférentielle	Donnée D Dimension du plus gros granulats (D)	Données complémentaires E
<b>Exemple 1 : sol en béton dans une habitation, non soumis à des charges exceptionnelles</b>					
C25/30	BA	EE1	S210 (ou classe de consistance S5)	20/22	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Béton pour sols intérieurs selon la NIT 267 :               <ul style="list-style-type: none"> <li>- teneur en eau &gt; 180 l/m<sup>3</sup></li> <li>- dosage de ciment &gt; 320 kg/m<sup>3</sup></li> <li>- teneur en air &lt; 3,0 %</li> <li>- granulométrie : selon l'Annexe A de la NIT 267</li> </ul> </li> <li>• Pompe 42 m</li> <li>• PREV2/AR1</li> </ul>
<b>Exemple 2 : sol en béton dans un espace de stockage régulièrement en contact avec de l'eau soumis à des contraintes lourdes</b>					
C30/37	BA	EE2	S210 (ou classe de consistance S5)	14/16	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Béton pour sol intérieur selon la NIT 267 :               <ul style="list-style-type: none"> <li>- teneur en eau &gt; 180 l/m<sup>3</sup></li> <li>- dosage de ciment &gt; 320 kg/m<sup>3</sup></li> <li>- teneur en air &lt; 3,0 %</li> <li>- granulométrie : selon l'Annexe A de la NIT 267</li> </ul> </li> <li>• Pompe 50 m</li> <li>• 40 kg/m<sup>3</sup> de fibres d'acier de type [...], ajouté à la centrale</li> <li>• PREV2/AR2</li> </ul>
<b>Exemple 3 : sol en béton dans un garage</b>					
C35/45*	BA	EE4	S210 (ou classe de consistance S4)	32	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Béton pour sol intérieur selon la NIT 267 :               <ul style="list-style-type: none"> <li>- teneur en eau &gt; 180 l/m<sup>3</sup></li> <li>- dosage de ciment &gt; 320 kg/m<sup>3</sup></li> <li>- teneur en air &lt; 3,0 %</li> <li>- granulométrie : selon l'Annexe A de la NIT 267</li> </ul> </li> <li>• PREV2/AR3</li> <li>• Pompe 30 m</li> </ul>

\* Même si une classe de résistance C25/30 suffit déjà pour la stabilité.

## 9.4 Béton à empreinte carbone réduite

Les centrales à béton peuvent être certifiées par le CSC (*Concrete Sustainability Council*). Cette certification n'est pas couverte par la marque BENOR. Elle est essentiellement axée sur la gestion durable de l'entreprise et l'approvisionnement responsable en matières premières. Elle comprend quatre catégories :

- aspects environnementaux
- aspects sociaux de la durabilité
- aspects économiques
- aspects liés à la gestion.

Il existe également un module CO<sub>2</sub> relatif aux émissions de CO<sub>2</sub> réduites. Plusieurs niveaux sont définis pour les différentes classes de réduction des émissions de CO<sub>2</sub> par rapport à des valeurs de référence.

La classe de réduction des émissions de CO<sub>2</sub> est à spécifier lors de la commande.

**Tableau 18** Émissions maximales de CO<sub>2</sub> par niveau de réduction.

Classe de réduction du CO <sub>2</sub>	C12/15 E0	C16/20 EI	C20/25 EI	C25/30 EE2	C30/37 EE3	C35/45 EE4	C40/50 EE4
<b>Émissions maximales de CO<sub>2</sub> par niveau de réduction [net kg CO<sub>2</sub>eq./m<sup>3</sup>]</b>							
<b>Valeurs de référence</b>	228	244	269	294	319	344	361
<b>Niveau 1 (↓ ≥ 30%)</b>	160	171	188	206	226	241	253
<b>Niveau 2 (↓ ≥ 40%)</b>	137	146	161	176	194	206	217
<b>Niveau 3 (↓ ≥ 50%)</b>	114	122	135	147	162	172	181
<b>Niveau 4 (↓ ≥ 60%)</b>	91	98	108	118	129	138	144

# 10. Exemples de spécifications courantes du béton

Le tableau 19 donne quelques exemples de spécifications du béton destiné à des applications courantes. En pratique, la spécification d'un béton doit être adaptée à chaque situation spécifique (application exacte, exigences spécifiques éventuelles, ...).

**Tableau 19** Exemples de spécifications du béton.

Semelle de fondation armée de fibres métalliques de type AA. Le béton n'est pas en contact avec des agents agressifs. Béton conforme aux normes NBN EN 206 et NBN B 15-001					
Donnée A Classe de résistance	Donnée B1 Domaine d'utilisation	Donnée B2 Classe d'environnement	Donnée C Valeur d'affaissement cible préférentielle	Donnée D Dimension du plus gros granulats (D)	Données complémentaires E
C25/30	BA	EE1	S210 (ou classe de consistance S5)	20 mm	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 25 kg/m<sup>3</sup> de fibres métalliques de type [...]</li> <li>• Pompe 42 m</li> <li>• PREV2/AR2</li> </ul>
Pieux, pas d'agents agressifs Béton conforme aux normes NBN EN 206 et NBN B 15-001					
Donnée A Classe de résistance	Donnée B1 Domaine d'utilisation	Donnée B2 Classe d'environnement	Donnée C Valeur d'affaissement cible préférentielle	Donnée D Dimension du plus gros granulats (D)	Données complémentaires E
C25/30	BA	EE1	S180 (ou classe de consistance S4)	20 mm	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Béton pour pieux conforme à l'annexe D de la norme NBN EN 206</li> <li>• Conditions de bétonnage sèches</li> <li>• TC150</li> <li>• Pompe 42 m</li> <li>• PREV2/AR2</li> </ul>
Dalle de sol intérieur lissée à l'hélicoptère avec incorporation d'une couche d'usure Béton conforme aux normes NBN EN 206 et NBN B 15-001					
Donnée A Classe de résistance	Donnée B1 Domaine d'utilisation	Donnée B2 Classe d'environnement	Donnée C Valeur d'affaissement cible préférentielle	Donnée D Dimension du plus gros granulats (D)	Données complémentaires E
C25/30	BA	EE1	S210 (ou classe de consistance S5)	20 mm (éventuellement 16 mm)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Béton pour sol intérieur selon la NIT 267 :               <ul style="list-style-type: none"> <li>- E<sub>min</sub> 180 litre/m<sup>3</sup></li> <li>- C<sub>min</sub> 320 kg/m<sup>3</sup></li> <li>- A<sub>max</sub> 3 %</li> <li>- squelette inerte selon l'Annexe A de la NIT 267</li> </ul> </li> <li>• Pompe 42 m</li> <li>• PREV2/AR1</li> </ul>
Voile extérieur, une teinte claire est souhaitée. Il n'y a pas de contact avec des agents agressifs, mais une absorption d'eau par immersion limitée est nécessaire. Béton conforme aux normes NBN EN 206 et NBN B 15-001					
Donnée A Classe de résistance	Donnée B1 Domaine d'utilisation	Donnée B2 Classe d'environnement	Donnée C Valeur d'affaissement cible préférentielle	Donnée D Dimension du plus gros granulats (D)	Données complémentaires E
C30/37	BA	EE3	S180 (ou classe de consistance de S4)	20 mm	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ciment de teinte claire de type CEM III/B 42,5 N LA</li> <li>• WAI(0,50)</li> <li>• PREV2/AR2</li> </ul>

Ouvrage contenant des agents agressifs (teneur en sulfates de l'ordre de 2.000 mg/l dans le liquide en contact avec le béton). Une absorption d'eau par immersion limitée est nécessaire. De plus, il s'agit d'éléments de construction pour lesquels les effets de la RAS ne sont pas acceptables. En effet, la réparation ou le remplacement d'éléments détériorés a un impact économique substantiel.  
Béton conforme aux normes NBN EN 206 et NBN B 15-001

Donnée A Classe de résistance	Donnée B1 Domaine d'utilisation	Donnée B2 Classe d'environnement	Donnée C Valeur d'affaissement cible préférentielle	Donnée D Dimension du plus gros granulat (D)	Données complémentaires E
C30/37	BA	EE3 + EA2	S180 (ou classe de consistance S4)	20 mm calcaire	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ciment CEM III/B 42,5 N-LH/SR LA</li> <li>• WAI(0,50)</li> <li>• PREV3/AR2</li> <li>• Pompe 32 m</li> </ul>

Colonne d'un ouvrage d'art routier. Pas de contact avec des agents agressifs, mais bien avec des sels de déverglaçage. Une absorption d'eau par immersion limitée est nécessaire. Il s'agit d'éléments de construction pour lesquels les effets de la RAS ne sont pas acceptables. En effet, la réparation ou le remplacement d'éléments détériorés a un impact économique substantiel.  
Béton conforme aux normes NBN EN 206 et NBN B 15-001

Donnée A Classe de résistance	Donnée B1 Domaine d'utilisation	Donnée B2 Classe d'environnement	Donnée C Valeur d'affaissement cible préférentielle	Donnée D Dimension du plus gros granulat (D)	Données complémentaires E
C35/45	BA	EE4	S180 (ou classe de consistance S4)	20 mm calcaire	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ciment CEM III/A 42,5 N LA</li> <li>• WAI(0,45)</li> <li>• PREV3/AR3</li> <li>• Pompe 42 m</li> </ul>

Chape de compression armée d'un mélange de fibres métalliques (10 kg) et de fibres polypropylène (600 g)  
Béton conforme aux normes NBN EN 206 et NBN B 15-001

Donnée A Classe de résistance	Donnée B1 Domaine d'utilisation	Donnée B2 Classe d'environnement	Donnée C Valeur d'affaissement cible préférentielle	Donnée D Dimension du plus gros granulat (D)	Données complémentaires E
C25/30	BA	EI	S210 (ou classe de consistance S5)	8 mm	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 10,6 kg de fibres métalliques et de fibres de polypropylène de type [...]</li> <li>• Pompe 24 m</li> </ul>

Semelle de fondation armée de fibres métalliques à empreinte carbone réduite. Le béton n'est pas en contact avec des agents agressifs.  
Béton conforme aux normes NBN EN 206 et NBN B 15-001

Donnée A Classe de résistance	Donnée B1 Domaine d'utilisation	Donnée B2 Classe d'environnement	Donnée C Valeur d'affaissement cible préférentielle	Donnée D Dimension du plus gros granulat (D)	Données complémentaires E
C25/30	BA	EE1	S210 (ou classe de consistance S5)	20 mm	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 25 kg/m<sup>3</sup> de fibres métalliques de type [...]</li> <li>• Pompe 42 m</li> <li>• PREV2/AR2</li> <li>• Classe de réduction du CO<sub>2</sub> = niveau 4</li> </ul>

Voile extérieur à empreinte carbone réduite  
Béton conforme aux normes NBN EN 206 et NBN B 15-001

Donnée A Classe de résistance	Donnée B1 Domaine d'utilisation	Donnée B2 Classe d'environnement	Donnée C Valeur d'affaissement cible préférentielle	Donnée D Dimension du plus gros granulat (D)	Données complémentaires E
C30/37	BA	EE3	S180 (ou classe de consistance S4)	20 mm	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Classe de réduction du CO<sub>2</sub> = niveau 3</li> <li>• PREV2/AR2</li> </ul>

# Bibliographie

## B

### BE-CERT ([www.be-cert.be](http://www.be-cert.be))

- B1** TRA 550 Certification BENOR du béton prêt à l'emploi. Bruxelles, BE-CERT, Règlement d'application, n° 550, 2018.

### Buildwise ([www.buildwise.be](http://www.buildwise.be))

- B2** Sols intérieurs en béton. Bruxelles, Buildwise, Note d'information technique, n° 267, 2019.

### Bureau de normalisation (Bruxelles, NBN, [www.nbn.be](http://www.nbn.be))

- B3** NBN B 12-108:2015 Ciments. Ciments à haute résistance aux sulfates.  
**B4** NBN B 12-109:2020 Ciments. Ciments à teneur limitée en alcalis.  
**B5** NBN B 15-001:2022 Béton. Spécification, performances, production et conformité. Complément national à la norme NBN EN 206:2013+A2:2021.  
**B6** NBN EN 1992-1-1:2005 Eurocode 2 : Calcul des structures en béton. Partie 1-1 : règles générales et règles pour les bâtiments (+AC:2010).  
NBN EN 1992-1-1 ANB:2010 Eurocode 2 : Calcul des structures en béton. Partie 1-1 : règles générales et règles pour les bâtiments. Annexe nationale belge.  
NBN EN 1992-1-1/A1:2015 Eurocode 2 : Calcul des structures en béton. Partie 1-1 : règles générales et règles pour les bâtiments.  
**B7** NBN B 15-007:2018 Béton apparent. Classifications et spécifications.  
**B8** NBN B 15-215:2018 Essais sur béton durci. Absorption d'eau par immersion.  
**B9** NBN B 15-400:2015 Exécution des structures en béton. Supplément national à la norme NBN EN 13670:2010+AC:2016.  
**B10** NBN EN 196-2:2013 Méthodes d'essais des ciments. Partie 2 : analyse chimique des ciments.  
**B11** NBN EN 206:2013 Béton. Spécification, performances, production et conformité (+A2:2021).  
**B12** NBN EN 480-4:2005 Adjuvants pour béton, mortier et coulis. Méthodes d'essai. Partie 4 : détermination du ressuage du béton.  
**B13** NBN EN 1536+A1:2015 Exécution des travaux géotechniques spéciaux. Pieux forés.  
**B14** NBN EN 1538+A1:2015 Exécution des travaux géotechniques spéciaux. Parois moulées.  
**B15** NBN EN 12350-2:2019 Essais pour béton frais. Partie 2 : essai d'affaissement.  
**B16** NBN EN 12350-8:2019 Essais pour béton frais. Partie 8 : béton autoplaçant. Essai d'étalement au cône d'Abrams.  
**B17** NBN EN 12620+A1:2008 Granulats pour béton.  
**B18** NBN EN 12699:2015 Exécution des travaux géotechniques spéciaux. Pieux avec refoulement du sol.  
**B19** NBN EN 13577:2007 Attaque chimique du béton. Détermination de la teneur en dioxyde de carbone agressif de l'eau.  
**B20** NBN EN 15743+A1:2015 Ciment sursulfaté. Composition, spécifications et critères de conformité.  
**B21** NBN EN 16502:2014 Méthode d'essai pour la détermination du degré d'acidité des sols selon Baumann-Gully.  
**B22** NBN EN ISO 7980:2000 Qualité de l'eau. Dosage du calcium et du magnésium. Méthode par

spectrométrie d'absorption atomique (ISO 7980:1986).

- B23** NBN EN ISO 10414-1:2009 Industries du pétrole et du gaz naturel. Essais *in situ* des fluides de forage. Partie 1 : fluides aqueux (ISO 10414-1:2008).

## C

### Concrete Institute of Australia ([concreteinstitute.com.au](http://concreteinstitute.com.au))

- C1** CIA Z17-2012 Recommended Practice. Tremie Concrete for Deep Foundations. North Sydney, CIA, 2012.

## O

### Organisation internationale de normalisation (Genève, ISO, [www.iso.org](http://www.iso.org))

- O1** ISO 4316:1977 Agents de surface. Détermination du pH des solutions aqueuses. Méthode potentiométrique.
- O2** ISO 7150-2 :1986 Qualité de l'eau. Dosage de l'ammonium. Partie 2 : méthode spectrométrique automatique.

Une édition de Buildwise (ex-Centre scientifique et technique de la construction),  
établissement reconnu en application de l'arrêté-loi du 30 janvier 1947.

Éditeur responsable : Olivier Vandooren

Buildwise, Kleine Kloosterstraat 23

B-1932 Zaventem.

D/2023/0611/09

Publication à caractère scientifique visant à faire connaître les résultats des études et  
recherches menées dans le domaine de la construction en Belgique et à l'étranger.

La reproduction ou la traduction, même partielles, des textes et des illustrations  
de la présente publication n'est autorisée qu'avec le consentement écrit  
de l'éditeur responsable.

Révision et mise en page : Morgane Brixhe

Illustrations : Q. van Grieken

Photographies Buildwise : M. Sohie et al.

Kleine Kloosterstraat 23  
B-1932 Zaventem  
Tél. 02/716 42 11  
E-mail : info@buildwise.be  
Site Internet : buildwise.be

- Avis techniques – Publications
- Gestion – Qualité – Techniques de l'information
- Développement – Valorisation
- Agréments techniques – Normalisation

#### **Buildwise Limelette**

Avenue Pierre Holoffe 21  
B-1342 Limelette  
Tél. 02/655 77 11

- Recherche et innovation
- Formation
- Bibliothèque

#### **Buildwise Brussels**

Rue Dieudonné Lefèvre 17  
B-1020 Bruxelles  
Tél. 02/233 81 00

Après plus d'un demi-siècle d'existence, le Centre scientifique et technique de la construction (CSTC) fait désormais place à Buildwise. Ce nouveau nom porte en lui une orientation nouvelle, davantage axée sur l'innovation, sur la collaboration et sur une approche pluridisciplinaire plus intégrée. Buildwise étant principalement financé par les redevances de quelque 100.000 entreprises de construction belges, celles-ci contribuent ainsi à motiver son action, notamment en définissant ses priorités et en pilotant ses travaux par le biais des Comités techniques.

### **Votre centre de recherche devient centre d'innovation**

Fort des connaissances qu'il a acquises au fil des années, Buildwise s'est imposé comme le centre de référence et d'expertise du secteur de la construction. Buildwise se tient aux côtés de tous les acteurs impliqués dans l'acte de bâtir. Notre objectif ? Transmettre des connaissances qui améliorent réellement la qualité, la productivité et la durabilité, et ouvrir la voie à l'innovation sur chantier et dans l'entreprise.

### **Dynamiser le partage des connaissances et les interconnexions**

Compte tenu de la grande complexité et de la forte fragmentation du processus de construction, Buildwise se doit de renforcer son rôle fédérateur. Nous ne pourrions relever les défis sectoriels et sociétaux qu'en mobilisant le secteur tout entier et en repensant nos modèles d'entreprise et notre façon de collaborer.

### **De la multidisciplinarité à la transdisciplinarité**

Notre spécificité tient à notre approche pragmatique et multidisciplinaire. Pour trouver des solutions solides, il faut une stratégie globale et intégrée. C'est pourquoi nos ambitions s'articulent autour de trois piliers : les technologies numériques, la durabilité et le métier (représenté par les entrepreneurs au sein des Comités techniques).