

Spécifier les bétons suivant les normes NBN EN 206 et NBN B 15-001



TABLE DES MATIERES

Spécifier un béton « traditionnel »	2
Spécifier un béton « autocompactant »	13
Spécifier du béton pour parois moulées	15

Auteurs : Julie Piérard, Vinciane Dieryck, Bram Dooms, Valérie Pollet

Document rédigé en 2018 dans le cadre de l'Antenne Normes « Béton, Mortier, Granulat » subsidiée par le SPF Economie.

Spécifier un béton « traditionnel »

1 LA SPÉCIFICATION DU BÉTON EN BREF

Il est possible de spécifier le béton de deux manières:

- soit selon une composition définie. Pour un béton à 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 à ces normes. Cette méthode exige une connaissance approfondie en technologie du béton et la connaissance des caractéristiques des matériaux disponibles. C'est pourquoi cette méthode n'est pas conseillée.
- soit 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.

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 : le béton doit être conforme aux normes NBN EN 206:2013+A1:2016 et NBN B 15-001:2018 ;
- 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 classe de consistance (C) ;
 - la dimension maximale des granulats (D) ;
- et éventuellement des données complémentaires (E), par exemples:
 - la pompabilité du béton ;
 - le niveau de prévention de la réaction alcali-silice ;
 - une teneur limitée en air en cas de sols polis ou talochés ;
 - le type de ciment (ciment à haute résistance aux sulfates selon la norme NBN B 12-108, etc.) ;
 - l'utilisation d'entraîneur d'air ;
 - l'absorption d'eau par immersion (WAI) ;
 - une classe de teneur en chlorures plus stricte que celle prévue pour le domaine d'utilisation dans le contexte belge.

Le tableau 1 présente les étapes à suivre pour la spécification des bétons.

Tableau 1 - Prescriptions générales pour la spécification des bétons

Béton conforme aux normes NBN EN 206 et NBN B 15-001										
Données de base A: Choisir la classe de résistance C $f_{ck, cyl}/f_{ck, cube}$ ^{(1) (2)}										
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						C12/15	Pas d'application			
	Environnement intérieur sec									
EI						C12/15	C16/20			
	Environnement extérieur ou intérieur humide									
EE1	Pas de gel					C12/15	C20/25			
EE2	Gel mais pas de contact avec la pluie					C25/30	C25/30			
EE3	Gel et contact avec la pluie					C30/37 C20/25 ⁽³⁾	C30/37 C25/30 ⁽³⁾			
EE4	Gel et sels de déverglaçage					C35/45 C25/30 ⁽³⁾	C35/45 C30/37 ⁽³⁾			
	Environnement marin									
ES1	Contact avec air marin (jusqu'à 3 km de la côte) ou eau saumâtre – sans gel					C20/25	C30/37			
ES2	Contact avec air marin (jusqu'à 3 km de la côte) ou eau saumâtre – avec gel					C30/37 C20/25 ⁽³⁾	C30/37 C25/30 ⁽³⁾			
ES3	Contact avec eau de mer – éléments immergés					C25/30	C35/45			
ES4	Contact avec eau de mer – éléments exposés aux marées et éclaboussures					C35/45 C25/30 ⁽³⁾	C35/45 C30/37 ⁽³⁾			
	Environnement chimiquement agressif (toujours en combinaison avec une des classes d'environnement ci-dessus mentionnées)									
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 classe de consistance										
	Classe					Affaissement [mm]				
	S1					10 à 40				
	S2					50 à 90				
	S3					100 à 150				
	S4					160 à 210				
	S5					≥ 220				
Donnée de base D: Choisir la dimension maximale des granulats										
	6	8	10	11	12	14	16	20	22	32
Données complémentaires E										
Mesures contre la réaction alcali-silice: Niveau de prévention (PREV)										
PREV 1	Eléments de construction pour lesquels les effets de la RAS sont très limités (béton non armé, bétons revêtus d'un coating)									
PREV 2 (par défaut)	Eléments de construction pour lesquels les effets de la RAS sont peu acceptables (ex: béton de structure)									
PREV 3	Eléments de construction pour lesquels les effets de la RAS ne sont pas acceptables (ex: travaux d'infrastructures)									
Béton pompé ou non										
Teneur en air sur béton frais de 3,0 % pour sols talochés ou polis										
Autres exemples: absorption d'eau par immersion WAI, type de ciment (par exemple, ciment à haute résistance aux sulfates suivant NBN B 12-108), teneur en ciment autre que celle prévue dans les classes d'environnement, béton avec air entraîné, classe de teneur en chlorures inférieure à celle d'application, ...										
⁽¹⁾ $f_{ck, cyl}$ = résistance à la compression sur cylindre ([N/mm ²], cylindre de 300 mm de hauteur et 150 mm de diamètre)										
⁽²⁾ $f_{ck, cub}$ = résistance à la compression sur cube ([N/mm ²], cube de 150 mm de côté)										
⁽³⁾ Tenir compte de la classe d'environnement pour le choix de la classe de résistance										
⁽³⁾ Béton avec air entraîné										

2 PLUS EN DETAILS

2.1 Classe de résistance à la compression du béton

La classe de résistance du béton sera choisie parmi les 16 classes reprises au tableau 1. Chaque classe est désignée par la lettre C suivie de la résistance caractéristique en compression sur cylindre et sur cube :

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

(ex. 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) ; $f_{ck,cube}$ est utilisé pour le contrôle de la qualité (les cubes de 150 mm de côté sont d'un emploi plus pratique). La résistance caractéristique résulte de l'analyse statistique d'une série de résultats d'essais. Pour un béton donné, la résistance caractéristique est définie comme étant la valeur de résistance minimale à 28 jours qui est atteinte par 95 % de la population de toutes les mesures de résistance possibles pour le béton considéré (fractile de 95 %). Cette résistance caractéristique est exprimée en MPa ou en N/mm². Dans des cas spécifiques (par exemple, pour les ouvrages de masse), 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 jour (par exemple, C30/37 (56j)).

Ces classes de résistance sont valables pour les bétons normaux et lourds. Pour le béton léger, d'autres classes de résistance 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 de calculs. Il est à noter que les règles de calcul de l'Eurocode 2 s'appliquent aux bétons de classes de résistance jusqu'à la classe C90/105. Etant donné que la classe de résistance la plus élevée est la classe C100/115, la NBN EN 206 et la NBN B 15-001 ne couvrent pas les bétons à ultra-hautes performances (BUHP) qui sont caractérisés par des résistances en compression moyennes de plus de 120 MPa à 28 jours.

Dans la NBN B 15-001, il existe un lien entre la classe d'environnement et la classe de résistance minimale (cf. § 2.3.). 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 avec des classes de résistance plus élevées pourraient s'imposer. En cas d'utilisation d'un béton de classe de résistance plus élevée que celle prévue par le dimensionnement, il faudra adapter celui-ci (calcul de ferrailage minimal et ouvertures de fissures).

2.2 Domaine d'utilisation du béton

Le domaine d'utilisation indique 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 au béton pour les ouvrages non armés ne concernent que les ouvrages dépourvus d'acier sujet à la corrosion (armatures, fibres d'acier, ancrages, etc.).

En indiquant le domaine d'utilisation, la teneur maximale autorisée en ions chlore est définie implicitement. La norme détermine que la limite maximale autorisée dans le contexte belge est égale à 1,00 % Cl⁻ dans le béton non armé, à 0,40 % Cl⁻ dans le béton armé et à 0,20 % Cl⁻ dans le béton précontraint. Ceci est exprimé par rapport au poids du ciment (en tenant en compte des additions éventuelles) dans le béton.

Il est à noter que dans les milieux où il y a apport en chlorures, une classe de teneur en chlorures plus basse (classe 0,20 pour béton armé) est recommandée.

Les chlorures dans le béton armé ou précontraint peuvent provoquer la « corrosion initiée par les chlorures ». Ils peuvent être présents dans le ciment, les adjuvants, les granulats, etc.

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

2.3 Classe d'environnement du béton

La classe d'environnement fait référence à l'environnement dans lequel le béton sera exposé. Un élément en béton qui fait partie d'une structure intérieure doit répondre à des exigences moins sévères de durabilité qu'un élément extérieur.

La norme NBN B 15-001 identifie différents « environnements » qui sont très présents en Belgique. Ils sont appelés « classes d'environnement » et indiqués par la lettre **E** dérivé de l'anglais 'Environment', suivie par la lettre **I**, **E**, **S** ou **A** (dérivés de l'anglais 'Interior', 'Exterior', 'Sea' ou 'Agressive') et éventuellement d'un chiffre décrivant l'environnement de manière plus précise. La norme prévoit 13 classes d'environnement (voir le tableau 1). Une seule classe d'environnement doit être spécifiée sauf lorsqu'on est en présence d'un environnement chimiquement agressif. Lorsque le béton se trouve dans un environnement agressif (EA), il faut avoir recours à une seconde classe d'environnement : par exemple, un environnement extérieur légèrement agressif avec un risque de gel sans contact avec la pluie : EA1 et EE2. Dans ce cas, les exigences les plus strictes (teneur minimale en ciment et rapport maximal eau-ciment) sont d'application.

Pour chaque classe, des **exigences de durabilité** sont formulées pour les 3 domaines d'utilisation. Ces exigences de durabilité 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:

- (1) 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 la quantité d'eau absorbable par les granulats.
- (2) Teneur minimal en ciment. Cette teneur tient compte de la présence éventuelle d'ajouts de type II (cendres volantes, laitier de haut fourneau, ...) sous certaines conditions suivant la NBN EN 206 et la NBN B 15-001.
- (3) Classe de résistance à la compression minimale. Une classe de résistance supérieure à la classe requise pour la stabilité de l'ouvrage peut donc être nécessaire. Exemple : dans le cas d'un sol industriel extérieur ou d'un trottoir de pont, une classe de résistance à la compression minimale C30/37 (dans le cas des bétons avec air entraîné) ou C35/45 est requise par la classe d'environnement EE4 (cf. tableau 1).
- (4) Teneur en air minimale/maximale (le cas échéant).

Un type de béton est indiqué par le symbole **T**, suivi par un chiffre se rapportant au rapport eau/ciment maximal autorisé et éventuellement par la lettre **A** (de l'anglais 'Air') dans le cas des bétons avec air entraîné. La norme prévoit 10 types de béton (voir tableau 2).

Pour EE3, EE4, ES2 et ES4, deux types de béton sont possibles : un avec et sans air entraîné. Si le prescripteur souhaite un béton de type A, donc avec de l'air entraîné, il doit le mentionner dans les exigences complémentaires.

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

Tableau 2 - Exigences de durabilité pour les bétons non armés (BNA), bétons armés (BA) et béton précontraints (BP)

Classe	Description	Air entrainé	BNA = Béton non armé				BA = Béton armé ou BP = précontraint			
			Type de béton	Classe min. de résistance	C min. [kg/m ³]	Rapport E/Cmax	Type de béton	Classe min. de résistance	C min. [kg/m ³]	Rapport E/Cmax
Environnement non agressif										
E0	Environnement non agressif		T(1,00)	C12/15	-	1,00				
Environnement intérieur sec										
EI			T(1,00)	C12/15	-	1,00	T(0,65)	C16/20	260	0,65
Environnement extérieur ou intérieur humide										
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 entrainé avec air entrainé	T(0,50) T(0,55)A	C30/37 C20/25 ⁽¹⁾	320 300	0,50 0,55	T(0,50) T(0,50)A	C30/37 C25/30 ⁽²⁾	320 320	0,50 0,50
EE4	Gel et agents de déverglaçage	sans air entrainé avec air entrainé	T(0,45) T(0,50)A	C35/45 C25/30 ⁽²⁾	340 320	0,45 0,50	T(0,45) T(0,45)A	C35/45 C30/37	340 340	0,45 0,45
Environnement marin										
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 entrainé avec air entrainé	T(0,50) T(0,55)A	C30/37 C20/25 ⁽¹⁾	300 300	0,55 0,55	T(0,50) T(0,50)A	C30/37 C25/30 ⁽²⁾	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 éclaboussures	sans air entrainé avec air entrainé	T(0,45) T(0,50)A	C35/45 C25/30 ⁽²⁾	340 320	0,45 0,50	T(0,45) T(0,45)A	C35/45 C30/37	340 340	0,45 0,45
Agressivité chimique (à combiner avec une autre classe d'environnement)										
EA1	Faible agressivité chimique		T(0,55)	C25/30	300	0,55	T(0,55)	C25/30	300	0,55
EA2	Moyenne agressivité chimique		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
⁽¹⁾ Classe Max C25/30										
⁽²⁾ Classe Max C30/37										

Tableau 3 - Valeurs-limites pour les classes d'environnement, correspondant aux attaques chimiques des sols naturels et des eaux souterraines (Tableau 3.2. de la NBN EN 206)

Caractéristique chimique	Méthode d'essai de référence	EA1	EA2	EA3
Eaux souterraines				
SO ₄ ²⁻ en mg/l	EN 196-2	≥ 200 et ≤ 600	> 600 et ≤ 3000	> 3000 et ≤ 6000
pH	ISO 4316	≤ 6,5 et ≥ 5,5	≤ 5,5 et ≥ 4,5	< 4,5 et ≥ 4,0
CO ₂ agressif en mg/l	EN 13577	≥ 15 et ≤ 40	> 40 et ≤ 100	> 100 jusqu'à saturation
NH ₄ ⁺ en mg/l	ISO 7150-2	≥ 15 et ≤ 30	> 30 et ≤ 60	> 60 et ≤ 100
Mg ²⁺ en mg/l	EN ISO 7980	≥ 300 et ≤ 1000	> 1000 et ≤ 3000	> 3000 jusqu'à saturation
Sols				
SO ₄ ²⁻ total en mg/kg ⁽¹⁾	EN 196-2 ⁽²⁾	≥ 2000 et ≤ 3000 ⁽³⁾	> 3000 ⁽³⁾ et ≤ 12000	> 12000 et ≤ 24000
Acidité selon Bau-mann-Gully, en ml/kg	prEN 16502	> 200	N'est pas rencontrée dans la pratique	
⁽¹⁾ Les sols argileux dont la perméabilité est inférieure à 10 ⁻⁵ m/s peuvent être affectés à une classe inférieure. ⁽²⁾ La méthode d'essai prescrit l'extraction du SO ₄ ²⁻ à l'acide chlorhydrique ; il est également possible de procéder à cette extraction à l'eau, si l'on dispose d'une expérience en la matière sur le lieu d'utilisation du béton. ⁽³⁾ La limite doit être ramenée de 3000 mg/kg à 2000 mg/kg en cas de risque d'accumulation d'ions sulfate dans le béton en raison de l'alternance de périodes sèches et de périodes humides ou d'absorption capillaire.				

Les normes NBN EN 206 et NBN B 15-001 permettent également de prescrire un béton à l'aide des classes d'exposition. Les classes d'exposition sont définies dans la norme NBN EN 206. Leur définition dépend des éventuels mécanismes d'attaque auxquels le béton peut être soumis, comme les cycles de gel/dégel avec ou sans sels de déverglaçage, l'attaque chimique et, en présence d'armatures, la 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 qui renvoie 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 des classes d'environnement que des classes d'exposition. C'est pourquoi dans la norme NBN B 15-001, il est recommandé de définir les exigences de durabilité en fonction des classes d'environnement.

Il faut être bien conscient que ces deux sortes de classes sont intimement liées. Les exigences de durabilité des classes d'environnement sont dérivées de celles des classes d'exposition.

2.4 Classe de consistance du béton

Pour assurer une mise en œuvre correcte du béton, celui-ci doit présenter 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 définit différentes classes de consistance dont la définition dépend de la méthode de mesure utilisée. La norme décrit trois méthodes, la mesure de l'affaissement étant la plus couramment utilisée.



Figure 1 - Essai d'affaissement (Slump)

Cinq classes de consistance caractérisent l'affaissement (de S1 à S5). Elles sont reprises dans le tableau 1.

Généralement, on utilise les classes S4 ou S5 parce que ces classes permettent une mise en place aisée et un bon compactage. Une autre classe de consistance peut se justifier selon le type d'application, la densité du ferrailage, les méthodes de mise en place (pompage) et de compactage. Notons que plus l'ouvrabilité du béton est élevée, plus le risque de ségrégation est important. Pour des ouvrabilités très élevées, il est préférable d'opter pour un béton auto-plaçant.

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 de 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.

2.5 Dimension maximale des granulats

Un béton armé durable exige entre autres que l'armature soit complètement enrobée de béton et que le recouvrement soit suffisamment épais. Ceci protège les 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.

La norme NBN B 15-001 contient, dans son annexe informative P, des recommandations quant au choix du diamètre maximal des granulats D (voir ci-dessous). Les calibres possibles sont définis dans la norme européenne NBN EN 12620 'Granulats pour béton' (voir donnée de base D du tableau 1 pour les valeurs disponibles sur le marché belge).

Lors de la spécification du béton, selon la nouvelle norme NBN EN 206, deux valeurs D_{inf} et D_{sup} doivent être données, respectivement la plus petite et la plus grande valeur autorisée pour D . La valeur de D_{max} , le diamètre du plus gros granulats sélectionné par le producteur de béton et effectivement utilisé dans le béton, doit se trouver entre ces deux valeurs.

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

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

Pour une dimension du plus gros granulats en dehors de ces intervalles, il convient que D_{\max} soit égal à la valeur spécifiée.

Exemple: Si le cahier des charges spécifie un béton avec $D = 20$ mm, alors $D_{\inf} = 20$ mm et $D_{\sup} = 22$ mm. Le béton livré peut avoir un D_{\max} de 20 ou 22 mm.

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

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

Il est de pratique courante de ne pas sélectionner un D supérieur à:

- 1/5 de la plus petite distance entre les parois du coffrage (b) ;
- 1/5 de l'épaisseur de la dalle (d) ;
- 3/4 du plus petit écartement entre les barres d'armatures (en cas d'armatures soudées, 1,5 fois la plus petite distance) (c) ;
- 1/4 de l'espace libre entre les armatures longitudinales utilisées pour la fabrication de pieux moulés dans le sol ;
- 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 le supplément belge.

Pour les applications courantes, D équivaut généralement à 20 ou 22 mm pour les gravillons concassés et à 32 mm pour les gravillons roulés. Dans le cas des bétons auto-plaçants et des bétons à haute performance, le D est réduit à 14 ou 16 mm.

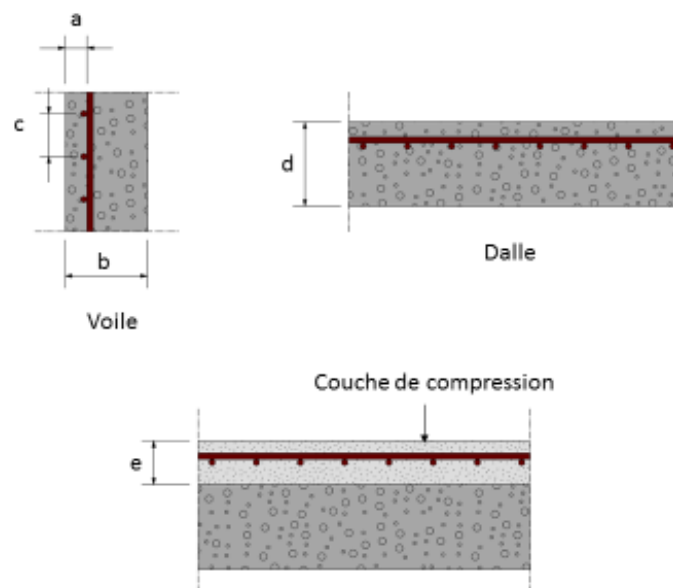


Figure 2 - Indication quant au choix de D

2.6 Données complémentaires

Pour des applications particulières, il peut être utile de définir des exigences 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 (par exemple le type de ciment, la teneur minimum en ciment (si plus stricte que mentionné ci-avant), éventuellement l'option « air entraîné » pour les classes d'environnement EE3, EE4, ES2 ou ES4, le type de granulats, ...) ;
- la mise en œuvre (par exemple béton pompé) ;
- le béton durci (par exemple, résistance contre l'absorption d'eau classe WAI) ;
- l'aspect esthétique du béton (béton apparent, béton coloré, ...).

2.6.1 Mesures de prévention en matière de réaction alcali-silice

Le risque d'apparition de la réaction alcali-silice (RAS) et de ses conséquences néfastes sont déterminés par plusieurs facteurs.

D'une part, l'application finale de l'élément de construction est déterminante pour des raisons économiques et sociétales que les dégâts entraîneraient. Ce facteur doit être fixé par le prescripteur sous la forme d'un **NIVEAU DE PREVENTION RAS (PREV)**. La définition des différents niveaux de prévention RAS est donnée dans le tableau 4. Si le prescripteur ne fournit pas le niveau de prévention RAS, le producteur de béton doit par défaut prendre en compte le niveau de prévention RAS PREV2.

D'un autre côté, l'exposition de l'élément de construction est déterminante pour le comportement et le degré de progression de la réaction. Ce facteur est lié à la **CATEGORIE D'EXPOSITION RAS (AR)**. La définition des catégories d'exposition RAS est donnée dans le tableau 5. Ces catégories sont en étroite relation avec les classes d'environnement et d'exposition. Si une catégorie d'exposition RAS n'est pas explicitement prescrite par le prescripteur, cette dernière peut être déterminée en fonction des classes d'exposition et d'environnement (tableau 6).

En fonction du niveau de prévention RAS et de la catégorie d'exposition RAS, des mesures préventives adéquates doivent être prises (tableaux 7 et 8). Certaines combinaisons de niveau de prévention RAS et de catégorie d'exposition RAS ne nécessitent aucune mesure préventive. Plus le niveau de prévention est élevé et la catégorie d'exposition est élevée, plus les mesures sont importantes.

Tableau 4 - Définition des niveaux de prévention RAS

Niveau de prévention RAS	Description	Exemple
PREV1	<p>Eléments de construction pour lesquels les effets de la RAS sont très limités et acceptables.</p> <p>En principe, ce niveau se limite au béton non armé ou au béton armé de faible classe de résistance à la compression et d'exigences de durabilités basses, aux éléments qui sont remplaçables aisément et à moindre coût et aux constructions temporaires. Sont repris également dans ce niveau, les éléments de construction pour lesquels le prescripteur prend d'autres mesures afin de prévenir la réaction alcali-silice (ex. : l'imperméabilisation du béton). Le prescripteur est conscient que l'élément de construction présente un risque intrinsèque au vu de l'action de la réaction alcali-silice.</p>	Eléments non armés, éléments remplaçables tels que caillebotis, bétons revêtus d'un coating, structures temporaires, ...
PREV2 (par défaut)	<p>Eléments de construction pour lesquels les effets de la RAS sont peu acceptables.</p> <p>La réparation ou le remplacement d'éléments détériorés a un impact économique et/ou sociétal non négligeable.</p>	<p>Bétons de structure, infrastructures routières (éléments linéaires, bordures, filets d'eau, ...)</p> <p>Revêtements de routes avec trafic faible ou moyen</p>
PREV3	<p>Eléments de construction pour lesquels les effets de la RAS ne sont pas acceptables.</p> <p>La réparation ou le remplacement d'éléments détériorés a un impact économique et/ou sociétal substantiel.</p>	<p>Bétons de structure pour de grands et/ou d'importants ouvrages et de travaux d'infrastructures (ponts, tunnels, quais...)</p> <p>Revêtements de routes avec trafic important</p>

Tableau 5 - Définition des catégories d'exposition RAS

Catégories d'exposition	Définition
AR 1	Eléments de construction dans un environnement intérieur, sans exposition à des sources externes d'humidité
AR 2	Eléments de construction dans des environnements intérieurs humides et extérieurs, immergés dans de l'eau (ou de l'eau de mer) ou en contact avec un sol non agressif
AR 3	Eléments de construction dans des environnements humides et exposés à des alcalis (ex. : sels de déverglaçage) ou à des variations d'humidité dues à des cycles mouillage-séchage en présence d'eaux de mer ou saumâtres.

Tableau 6 - Catégories d'exposition RAS en fonction des classes d'environnement.

Classe d'environnement	Catégorie d'exposition RAS
E0	AR1
EI	AR1
EE	
EE1	AR2
EE2	AR2
EE3	AR2
EE4	AR3
ES	
ES1	AR2
ES2	AR2
ES3	AR2
ES4	AR3
EA	
EA1	AR2
EA2	AR2
EA3	AR2

Tableau 7 - Mesures de prévention RAS en fonction des niveaux de prévention et des catégories d'exposition RAS

	AR1	AR2	AR3
PREV1	Aucun	Aucun	Aucun
PREV2	Aucun	1 ou 2 ou 3 ou 4	1 ou 2 ou 3 ou 4
PREV3	Aucun	1 ou 3 ou 4	1 ou 3 ⁽¹⁾ ou 4 ⁽¹⁾
⁽¹⁾ Exigences accrues			

Tableau 8 - Mesures de préventions RAS

Mesure	Description
1	Utilisation de granulats avec déclaration attestée de non-réactivité
2	Utilisation d'un ciment LA conforme à la NBN B 12-109, sans calcul d'un bilan alcalin
3	Limiter la teneur en alcalis du béton à une valeur spécifiée (bilan alcalin)
4	Réalisation d'un essai de gonflement afin de confirmer la durabilité de la composition d'un béton en matière de RAS

2.6.2 Type de béton avec air entraîné pour les classes EE3, EE4, ES2 et ES4

Comme mentionné précédemment, pour EE3, EE4, ES2 et ES4, deux types de béton sont possibles : un avec et un sans air entraîné. Si le prescripteur souhaite un béton avec un entraîneur d'air, il doit le mentionner dans les exigences complémentaires.

2.6.3 Type de ciment

En fonction des conditions climatiques, un type de ciment plus ou moins rapide pourrait être requis.

A partir d'une concentration en ions sulfates dans l'eau supérieure à 600 mg/l ou de 3000 mg/kg (2000 mg/kg en cas de risque d'accumulation) dans le sol, il faut impérativement recourir à l'utilisation d'un ciment à haute résistance aux sulfates suivant la norme NBN B 12-108 ou d'une combinaison ciment/laitier conforme au guide d'agrément 'ATG 'LMA' comprenant au moins 66 % de laitier.

Dans le cas de réalisation d'ouvrages massifs (épaisseur supérieure à 50 cm), il est recommandé d'utiliser des ciments à faible chaleur d'hydratation (LH – Low Heat) ou à très faible chaleur d'hydratation (VLH – Very Low Heat) pour éviter les fissures thermiques

2.6.4 Résistance à l'absorption d'eau

Dans un souci d'amélioration de la durabilité, il est possible de demander un béton à faible absorption d'eau (déterminé suivant la norme NBN B 15-215:2018). La NBN B 15-001 définit à cet effet, dans une annexe O, cinq classes d'« absorption d'eau par immersion », avec des exigences complémentaires. Chaque classe 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 lesquelles elles sont d'application.

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

2.6.5 Teneur maximale en air pour des applications de sols industriels talochés ou polis

La délamination des sols en béton est un phénomène qui est, entre autres, causé par le piégeage de bulles d'air entraîné sous la surface lissée. C'est pourquoi il est recommandé de ne pas réaliser de sols industriels talochés ou polis avec des bétons contenant plus de 3,0 % air d'entraîné. C'est également pour cette raison que la spécification d'un béton à air entraîné est à proscrire pour une telle application.

Spécifier un béton « auto-plaçant »

La spécification d'un béton auto-plaçant s'effectue de la même façon qu'un béton « traditionnel » comme décrit dans la première partie à l'exception de la classe de consistance et d'autres données complémentaires.

Dans le cas des BAP, la classe d'affaissement (S), donnée de base C dans le tableau 1, doit être remplacée par une classe d'étalement au cône Abrams (SF).

Tableau 9 - Classe d'étalement au cône Abrams sur base des mesures suivant NBN EN 12350-8

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



Figure 3 - Mesure de l'étalement au cône Abrams (slump flow)

Parmi les données complémentaires (données complémentaires E dans le tableau 1, il y a lieu 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** est la seule exigence de base pour spécifier un BAP à l'état frais. Or, cette exigence 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 (classe de viscosité VF1) ou très visqueux (classe de viscosité VF2). Dans ce dernier cas, il s'écoulera donc lentement, mais loin.

Une **classe de viscosité** élevée peut être utile pour limiter la pression sur le coffrage ou 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 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.

Le tableau 10 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.

A la livraison, il est recommandé d'effectuer un contrôle du slump flow et de la viscosité apparente si elle a été spécifiée.

Tableau 10 - Exemples de spécification des BAP pour différentes applications

Classe de viscosité apparente	Classe d'étalement		
	SF1	SF2	SF3
VS2 VF2	RAMPE		
VS1 ou VS2 VF1 ou VF2		MURS ET PILIERS	ÉLÉMENTS HAUTS ET ÉLANCÉS
VS1 VF1	SOLS ET DALLES		

Spécifier du béton pour parois moulées

Les bétons pour parois moulées doivent être spécifiés selon les directives du paragraphe 6 des normes NBN EN 206 et NBN B 15-001. Toutefois, il faut également tenir compte du fait que le 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 de bétonnage.

Ainsi, les dispositions relatives à la teneur en ciment, à la teneur minimale en fines, au rapport maximal eau/ciment, à la consistance et au maintien de celle-ci dans le temps peuvent s'écarter des dispositions classiques et relatives à d'autres ouvrages. Il est donc primordial d'également stipuler que les bétons doivent être conformes aux dispositions spécifiques de l'Annexe D des normes NBN EN 206 et NBN B 15-001.



Figure 4 - Paroi moulée

Le tableau ci-après constitue une synthèse des différentes exigences à stipuler.

Tableau 11 - Spécification d'un béton pour parois moulées

	Moyen de contrôle	A spécifier	Remarques	Exemple
Données de base				
Conformité	Fiche technique et/ou bon de livraison	Annexe D des normes	A stipuler absolument	Béton conforme à l'Annexe D des normes NBN EN 206 et NBN B 15-001
Classes de résistance	Essais de compression	Tableau 1 (donnée de base A)	A spécifier par bureau d'étude	C30/37
Domaine d'utilisation	Teneur en chlorures du béton	Béton non armé (BNA) ou béton armé (BA)		BA
Classes d'environnement	C_{min} et E/C_{max}	Tableau 1 (donnée de base B2)	Choix dépend si la paroi sera exposée au gel, à l'eau de mer, à des agents agressifs	EE1 + EA2
Consistance	Affaissement au cône d'Abrams	S5		S5
D des granulats	Fiche technique et/ou bon de livraison + Visuel	14, 16, 20, 22 ou 32	≤ 32 mm et $\leq \frac{1}{4}$ de l'espace libre entre les armatures longitudinales	22 mm
Données complémentaires				
Teneur en ciment	Fiche technique et/ou bon de livraison	Voir tableau 12		≥ 380 kg/m ³
Teneur en particules fines	Fiche technique	Constituants $\leq 0,125$ mm (y compris ciment, cendres volantes etc.)	La teneur en particules fines doit être suffisamment élevée pour assurer la stabilité du béton durant sa mise en œuvre	≥ 400 kg/m ³
Granulométrie		Continuité de la courbe granulométrie	Pour éviter la ségrégation, voir § D.2.2 – NBN EN 206	
Maintien de l'ouvrabilité dans le temps	Affaissement au cône d'Abrams	Durée durant laquelle l'affaissement doit être de minimum 180 mm	Voir aussi norme NBN EN 1538 et NBN EN 206, annexe D	240 minutes
Resuage	ASTM C232	$< 0,1$ ml/minute	Essai de resuage	
	NBN EN 480-4	< 1 %	Essai de resuage	
	Bauer Test	≤ 15 l/m ³	Essai de filtration	Filtration ≤ 15 l/m ³ au Bauer Test
Résistance aux sulfates	Fiche technique et/ou bon de livraison	Ciment à haute résistance aux sulfates conforme à la norme NBN B 12-108	Si teneur en sulfates > 600 mg/l dans l'eau ou > 3000 mg/kg dans le sol	Ciment CEM III/B 42,5 N-LH/SR LA
Prévention contre la RAS	Fiche technique et/ou bon de livraison	Voir § 2.6.1.	Choix du niveau de prévention RAS souhaité (tableau 4)	PREV2
Cadence		Cadence en m ³ /h		50 m ³ /h

Tableau 12 - Teneur minimale en ciment pour le béton destiné aux parois moulées en fonction du D_{max} .

D_{max} [mm]	Teneur minimale en ciment [kg/m ³]
32	350
22,4	380
16	400



Figure 5 - Mesure du ressuage Bauer test