

NF EN 206+A2/CN

Nouvelle version du complément national de la norme béton
et évolutions normatives associées

2025

1

Décarbonation des ouvrages en bétons

- 1.1 Une évolution en phase avec la stratégie nationale bas carbone
- 1.2 Le travail de la commission AFNOR P18B
- 1.3 Le contexte européen

2

Les objectifs de la révision du complément national de la norme NF EN 206+A2

3

Création de classes de réductions d'impact carbone

4

Les nouveautés pour les constituants

- 4.1 Les ciments
- 4.2 Les additions
 - 4.2.1 Nouvelle valeur de k pour les cendres volantes
 - 4.2.2 Contrôle des additions

5

Évolution des règles de formulations par approche prescriptive

- 5.1 Les classes d'expositions
- 5.2 Les nouveautés pour le liant équivalent
- 5.3 Les tableaux NA.F
- 5.4 Variation du dosage minimal en liant équivalent en fonction du $D_{\max}$
- 5.5 Les nouveautés pour les bétons d'ingénierie
- 5.6 Les minorations de la classe structurale

6

Les méthodes performantielles

- 6.1 Généralités
- 6.2 Les indicateurs et les grandeurs associés à la durabilité
- 6.3 L'approche par composition unique
- 6.4 L'approche par domaine de composition

7

Le nouveau fascicule de documentation FD P18-484 et son intégration dans la norme béton

8

Les bétons pour ouvrage provisoire

Ce travail est issu d'une contribution collective au sein du SNBPE avec la collaboration de CIMBETON. Des différences de style et de niveau d'approfondissement qui peuvent être perçues par le lecteur sont le fruit de cette démarche. Ce guide est une aide à la compréhension de la nouvelle version de la norme ; il n'a évidemment pas de vocation à s'y substituer, mais à en accompagner la lecture.

Le texte qui fait foi est uniquement celui de la norme NF EN 206+A2/CN : 2025.



1

Décarbonation des ouvrages en béton



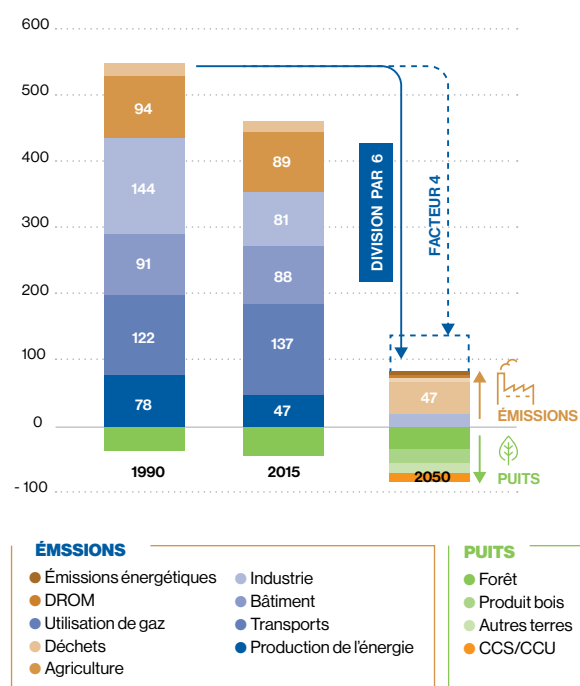
1.1. Une évolution en phase avec la stratégie nationale bas carbone

En 2015, lors de la COP 21 qui s'est tenue à Paris, 195 pays ont signé un accord visant à diminuer les émissions de gaz à effet de serre pour tenter de limiter le réchauffement climatique à +1,5°C par rapport à l'ère préindustrielle.

Pour la France, ces engagements ont débouché sur l'organisation du « Grenelle de l'Environnement » puis ont été déclinés en une Stratégie Nationale Bas Carbone (SNBC) dont l'objectif affiché est de tendre vers la neutralité à échéance 2050.

Figure 1

Stratégie Nationale Bas Carbone : évolution des émissions nettes de gaz à effet de serre Mt CO₂ éq



Le graphique de la figure 1 « Stratégie Nationale Bas Carbone » illustre ici les émissions de gaz à effet de serre (GES) par secteur d'activité émettrice en 1990 puis en 2015 et le scénario conduisant vers l'objectif en 2050 avec une cible à 0 GES pour le bâtiment.

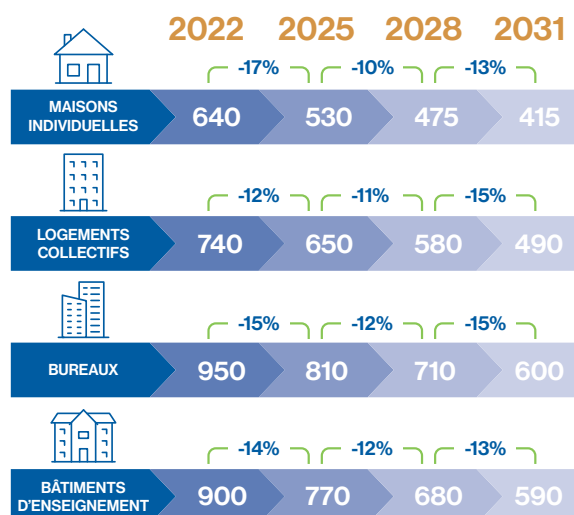
Pour parvenir à ce résultat, une nouvelle réglementation, la réglementation environnementale et énergé-

tique pour la construction neuve RE 2020, régit les obligations d'isolation et de confort thermique (en continuité de la RT2012), mais également — et c'est la première fois que cette notion apparaît — les obligations de respect de seuils carbone pour la construction de bâtiments d'habitation, avec une évolution des seuils de CO₂ par m² de surface habitable (SHAB) à différentes échéances.

C'est l'indicateur carbone I_c construction qui prend en compte toutes les émissions de gaz à effet de serre liées aux produits et équipements de construction, et à leur mise en œuvre lors du chantier. Entre 2022 et 2031, l' I_c construction max moyen sera diminué d'environ 35 %, avec des jalons intermédiaires tous les trois ans.

Figure 2

Les valeurs seuils exprimées en kgCO₂ éq/m² SHAB par typologie de bâtiment et à différentes échéances.



Le gros œuvre pouvant représenter jusqu'à 38% de l'indice carbone I_c construction, selon la typologie de bâtiment, c'est un poste significatif de réduction potentielle. Les postes relatifs au second œuvre et aux équipements jouent également un rôle prépondérant. La réduction de l'impact carbone à l'échelle d'un ouvrage en béton repose à la fois sur une optimisation du dimensionnement comme sur la sélection appropriée des matériaux pour les différentes parties de l'ouvrage et les différentes fonctionnalités à assurer.

1.2. Le travail de la commission AFNOR P18B

Dans ce contexte, la commission P18B de l'AFNOR (en charge des normes liées au béton) a travaillé à des ajustements possibles à apporter dans la norme NF EN 206+A2/CN et aux leviers actionnables à court terme pour produire des bétons à moindre impact carbone, tout en maintenant leur durabilité.

Pour ce faire, il a été créé le groupe d'experts GE SBC (Solutions Bas Carbone) réunissant toutes les parties prenantes impliquées dans la fabrication et l'utilisation du béton.

Après des mois d'échanges, de débats et de compromis, ces travaux de réflexion et d'examen de dossiers techniques ont ainsi conduit à des modifications de la norme en vigueur depuis novembre 2022 et à la création de nouveaux fascicules de documentation.

Ces évolutions font l'objet du présent guide.

Il convient de noter également, qu'une version actualisée du Fascicule 65 qui régit l'exécution des ouvrages de Génie-Civil en béton devrait sortir après la norme béton pour y inclure les évolutions du complément national de l'EN 206+A2 de 2022 et 2025.

1.3. Le contexte européen

Parallèlement aux travaux français, des travaux sont menés au niveau européen, à travers le CEN/TC 104 (comité technique de normalisation au niveau européen intitulé: Béton et constituants du béton) pour la révision de la partie européenne de l'EN 206.

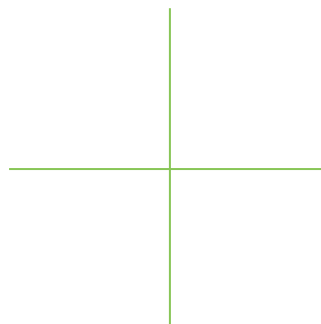
Cette révision, outre la coupure en 3 parties, intégrera, entre autres, des classes de réduction d'impact carbone, similaires à celles développées dans le complément national (voir § 3 du présent guide).

La nouvelle norme européenne devrait être publiée courant 2026.

Par ailleurs, deux CEN TR (rapports techniques, équivalent à un Fascicule de Documentation français) vont prochainement être publiés sur la construction durable en béton :

CEN TR 18290 - Construction durable en béton

- Partie 1 - Aide à la planification ;
- Partie 2 - Potentiel d'optimisation supplémentaire.



2

**Les objectifs
de la révision**
du complément
national de la
norme NF EN
206+A2

2. Les objectifs de la révision du complément national de la norme NF EN 206+A2

La lutte contre le dérèglement climatique doit tenir compte du fait que les besoins de logements et d'équipements ne cessent de croître, il convient donc de pouvoir continuer à construire au moindre «coût carbone», en réduisant les émissions de gaz à effet de serre.

Depuis de nombreuses années, la filière béton est engagée dans la lutte contre le changement climatique, en visant une diminution constante de ses impacts. Cette action doit permettre au matériau béton de pouvoir continuer à répondre aux besoins du marché tout en garantissant les exigences de performances, de sécurité d'usage et de durabilité.

Pour apporter cette garantie au client, la normalisation accompagne l'amélioration des pratiques et le déploiement de solutions en béton à « impact carbone réduit » et répondant aux besoins du marché, remplissant les exigences de performances, sans nuire à la durabilité.

Parmi les axes principaux de cette révision :



Création de **classes de réduction de l'impact carbone** pour comparer les bétons selon un même référentiel.



Nouvelles possibilités en liant équivalent, avec l'emploi étendu d'additions minérales au sein des combinaisons de ciment avec addition, ainsi que des possibilités pour les mélanges de deux ciments.



Nouvelles possibilités avec les **méthodes performantielles**.

Ces points sont détaillés dans les chapitres suivants.



3

Création
de classes
de **réduction**
d'**impact carbone**

3.1. Définition des classes GWR

Les classes de réduction d'impact carbone sont définies par le fascicule de documentation FD P18-483-2 qui a été publié le 7 mars 2025. Elles permettent de classer un béton en fonction de son impact carbone par rapport à un béton de base, pour une classe de résistance mécanique, une classe d'exposition et une durée utile de projet données. Le § NA.4.4 de la NF EN 206+A2/CN précise que cette classe de réduction peut être spécifiée en tant que caractéristique complémentaire du béton (classification facultative).

Ce fascicule définit des classes GWR (Global Warming Reduction = Réduction du réchauffement climatique). Il existe deux types de classes :

- Des classes de réduction pour une durée de vie de 50 ans (cas des bâtiments) appelées GWR0 à GWR7 ;
- Des classes de réduction pour une durée de vie de 100 ans (cas du génie civil) appelées GW100R0 à GW100R7.

Ce GWR est déterminé à partir de la réduction des émissions de CO₂ du béton classifié par rapport à un béton de base correspondant.

$$GWR = 100 \times \left[1 - \left(\frac{\text{PRG total du béton}}{\text{PRG total du béton de base correspondant}} \right) \right]$$

Avec « PRG-total » = Potentiel de réchauffement global – total : indicateur associé à la catégorie d'impact « Changement climatique - total » dans la norme NF EN 15804 + A2/CN, exprimé en kgCO₂eq/UF.

Cette notion est définie pour un mètre cube de béton à la sortie de l'unité de production de béton, ce qui correspond aux modules A1 à A3 de la Déclaration Environnementale Produit (DEP) du béton. Ce PRG total du béton peut être calculé par le logiciel BETie du SNBPE (DEP A1-A4 en mettant une distance de transport égale à 0 en A4).

Un document 4 pages relatif à BETie est disponible sur : <https://www.snbpe.org/betie-4-0/>

Cet indicateur GWR peut, entre autres, servir à la spécification du béton lorsque des exigences portent sur la contribution d'un ouvrage au réchauffement climatique.

Tableau 1

Tableau 1 du FD P18-483-2 indiquant les classes de réduction de l'indicateur « PRG-total » par rapport au béton de base

Classe (durée d'utilisation de 50 ans)	Plage de réduction (%)
GWR0	≤ 9
GWR1	10-19
GWR2	20-29
GWR3	30-39
GWR4	40-49
GWR5	50-59
GWR6	60-69
GWR7	≥ 70

Note : Les bétons plus émissifs que le béton de base sont classés GWR0.

3.2. Le béton de base

Le béton évalué est comparé à un béton de base, défini dans le fascicule de documentation FD P18-483-2. Les valeurs de PRG total des bétons de base (A1-A3) sont rassemblées dans le tableau 2 du fascicule, repris ci-après (Tableau 2). Il s'agit d'un tableau à trois entrées, à savoir la classe de résistance, la durée utile du projet (DUP) et la classe d'exposition de la partie d'ouvrage concernée.

Tableau 2

Tableau 2 du FD P18-483-2 indiquant les valeurs du PRG-total du béton de base (en kg CO₂eq/m³) selon la classe de résistance, la classe d'exposition et la DUP (en année)

RC	DUP (ANS)	XC1	XC2	XC3	XC4	XS1	XS2	XS3	XD1	XD2	XD3	XF1	XF2	XF3	XF4	XA1	XA2	XA3
C20/25	50	219	219															
C25/30	50	219	219	235	235				235			235	252					
	100	235	235															
C30/37	50	235	235	235 _{a)}	235 _{a)}	276	276		235 _{a)}	276		235 _{a)}	274	274	285	276		
	100	235	235	252	276	276	276		276	276		276	292	318	318	276		
C35/45	50	276	276	276	276	276	276	292	276	276	292	276	300	301	301	276	292	
	100	276	276	276	276	276	276	292	276	276	292	276	300	323	323	276	292	
C40/50	50 & 100	318	318	318	318	318	318	318	318	318	318	318	330	330	330	318	318	318
C45/55	50 & 100	336	336	336	336	336	336	336	336	336	336	346	346	346	346	336	336	336
C50/60	50 & 100	354	354	354	354	354	354	354	354	354	354	354	366	366	366	354	354	354
C55/67	50 & 100	356	356	356	356	356	356	356	356	356	356	356	367	367	356	356	356	356
C60/75	50 & 100	357	357	357	357	357	357	357	357	357	357	357	368	368	368	357	357	357

a) Valeur portée à 252 pour les bétons précontraints

Ces valeurs ont été déterminées à la date de parution du fascicule pour un D_{max} de 20 mm, pour un béton qui n'est pas un BAP, sans granulats recyclés. Ces valeurs ne sont pas amenées à être révisées à court terme.

Donc, par exemple, pour une classe d'exposition XC3 et une classe de résistance C30/37 pour un ouvrage d'une durée de vie de 50 ans, la valeur de béton de base est de **235** kgCO₂eq/m³.

Note : Les cases vides correspondent à des situations non autorisées par la norme (par exemple, un béton de classe C25/30 en classe d'exposition XS1 n'est pas autorisé, car la classe de résistance minimale est C30/37 en XS1).

En complément de ce tableau, le fascicule FD P18-483-2 précise les valeurs de béton de base pour les classes d'exposition X0 et XC0, quelle que soit la durée de vie :

- **Pour une classe X0, sans classe de résistance spécifiée**, la valeur du béton de base est **134** kg CO₂eq/m³;
- **Pour les classes X0 et XC0 (voir § 5.1) de classe de résistance prescrite à C16/20**, la valeur de base est de **204** kgCO₂eq/m³.

Des modulations des valeurs du PRG-total de béton de base sont appliquées pour différents paramètres :

- **Modulation liée à l'utilisation de granulats recyclés (GBR)**

Dans le cas de l'utilisation de granulats recyclés (à partir de la classe de taux de substitution R1), les valeurs de PRG-total des bétons de base sont majorées de 10 kgCO₂eq/m³.

- **Modulation liée au béton autoplaçant (BAP)**

Les valeurs de PRG-total des bétons de base, sont majorées de 30 kg CO₂eq/m³.

- **Modulation liée au D_{max}**

Les valeurs du PRG du béton de base sont augmentées de :

- D_{max} 16 mm : + 4.5% ;
- D_{max} 14 mm : + 7% ;
- D_{max} 12,5 mm : + 9%

Les modulations sont cumulables, le cas échéant. Celle sur le D_{max} s'applique en dernier, après application des autres modulations.

3.3. Exemple de calcul

Soit un béton **C25/30 XC2** avec des granulats de **D_{max} 16 mm** et une **DUP de 50 ans**.

Pour ce béton, le calcul du PRG total de la formule de béton via BETie donne :

204 kgCO₂éq/m³

Le tableau 2 du FD P18-483-2 donne :

219 kgCO₂éq/m³ pour le PRG-total du béton de base en D_{max} 20 mm (Figure 3)

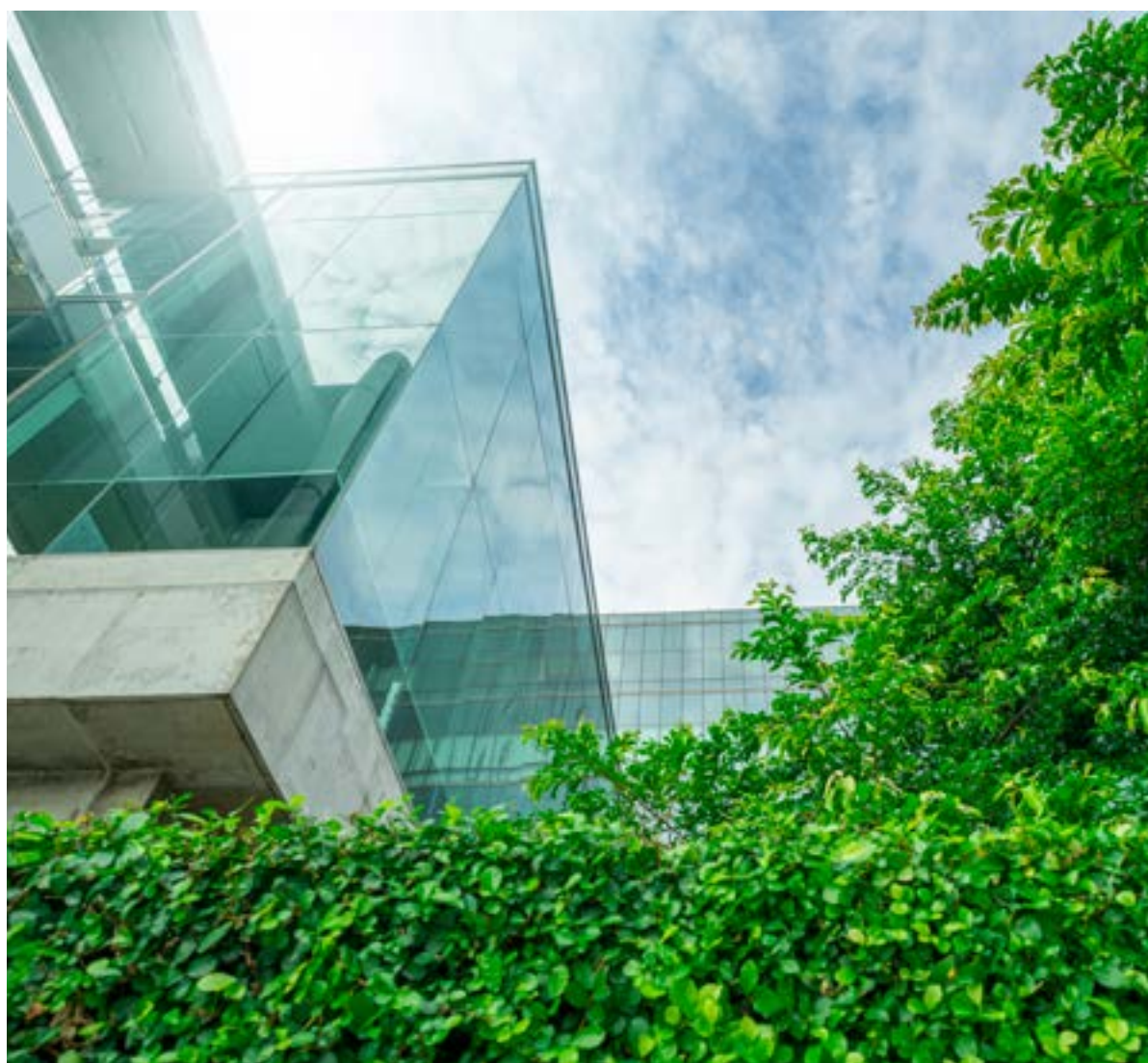
Le D_{max} du béton étudié étant de 16 mm, il faut ajouter **4,5%** à cette valeur soit : **229** kgCO₂éq/m³ [car (1+0.045)*219=229]

Le GWR est donc : $100 \times (1 - (204/229)) = 11\%$, le béton est donc classé GWR1.

Figure 3

Valeur de béton de base de type C25/30 XC2 pour DUP 50 ans

RC	DUP (ANS)	XC1	XC2	XC3	XC4	XS1	XS2
C20/25	50	219	219				
C25/30	50	219	219	235	235		
	100	235	235				



4

Les nouveautés pour les constituants

4.1. Les ciments

La norme NF EN 197-6 « Ciment – Partie 6 : ciment à base de matériaux de construction recyclés » a été publiée en juin 2023 par l'AFNOR.

Elle donne un cadre très précis aux exigences techniques et de mise en œuvre concernant l'ajout de fines de béton recyclé en tant que constituant du ciment jusqu'ici non répertorié par la norme NF EN 197-1 de 2012 ni par la norme NF EN 197-5 de 2021.

A l'instar de la norme EN 197-5, cette norme est non harmonisée car non publiée au journal officiel

européen. Les ciments couverts par la norme EN 197-6 ne peuvent donc bénéficier du marquage CE. Néanmoins, le texte de l'EN 197-6 est identique dans chaque pays de la zone CEN, et chaque pays l'a intégré dans sa collection nationale. Les exigences de contrôle et de performance sont identiques aux ciments de la NF EN 197-1.

Pour la France, ces ciments sont utilisables dans le cadre de la norme béton NF EN 206+A2/CN via **l'approche performantielle** (NA.5.1.2 et NA.5.3.3), et ils doivent être détenteurs du marquage NF-LH.



4.2. Les additions

4.2.1. Nouveau tableau NA.9a et valeur supplémentaire du coefficient k pour les cendres volantes

Pour le calcul du liant équivalent intégrant un ciment et une addition ($L_{eq} = C + k \cdot A$, cf. §NA.5.2.5.2.1 de la norme béton), le producteur de béton choisit la valeur de k , coefficient de prise en compte de l'addition, dans le nouveau tableau NA.9a. Ce choix se fait en fonction de l'addition utilisée et des caractéristiques garanties par le fournisseur.

Le tableau NA.9a (repris ci-après) remplace l'ancien tableau NA.9 et présente deux nouveautés :

- Une valeur supplémentaire de coefficient k introduite pour les additions cendres volantes : « $k=0,7$ » qui s'applique à des cendres volantes présentant une réactivité supérieure garantie (cf. conditions dans le tableau NA.9a repris ci-après).
- Il s'applique conjointement avec le nouveau tableau NA.9b (cf. section suivante « Nouveautés pour le contrôle des additions »).

Tableau 3

Tableau 9a de la norme Béton NF EN 206+A2/CN : 2025 : Valeurs du coefficient k

DÉNOMINATION DE L'ADDITION	VALEUR DU COEFFICIENT k	CONDITIONS SUPPLÉMENTAIRES À REMPLIR PAR RAPPORT AUX EXIGENCES DES NORMES DE SPÉCIFICATIONS DES ADDITIONS CONSIDÉRÉES
ADDITIONS DE TYPE II		
CENDRES VOLANTES POUR BÉTON	0,70	Si $i_{28} \geq 0,87$ et $i_{90} \geq 0,99$
	0,60	Si $i_{28} \geq 0,83$ et $i_{90} \geq 0,95$
	0,50	Si $i_{28} \geq 0,80$ et $i_{90} \geq 0,90$
	0,40	Sans objet
FUMÉES DE SILICE	2,00	<i>Dans les classes d'expositions x_a :</i> $E_{eff}/L_{eq} \leq 0,45$ et $c \geq 295 \text{ kg/m}^3$ <i>Dans les classes d'expositions différentes de x_a :</i> $E_{eff}/L_{eq} \leq 0,45$ et $c \geq 280 \text{ kg/m}^3$
	1,00	Dans les autres cas ou sur prescription particulière
LAITIERS MOULUS	0,90	Si $i_7 \geq 0,65$ et $i_{28} \geq 0,85$ (classes A et B)
	0,60	Sans objet (classe C)
MÉTAKAOLINS DE TYPE A	1,00	Sans objet
ADDITIONS DE TYPE I		
ADDITIONS CALCAIRES	0,25	Sans objet
ADDITIONS SILICEUSES DE MINÉRALOGIE QZ	0,35	Sans objet
TOUTES ADDITIONS		
POUR LES QUANTITÉS D'ADDITIONS DÉPASSANT LES VALEURS INDIQUÉES DANS LES TABLEAUX NA.F ET POUR LES AUTRES CEMENTS OU LES AUTRES ADDITIONS QUE CELLES MENTIONNÉES DANS NA.5.2.5.2.1	0,00	Sans objet

NOTE : i_7 , i_{28} , i_{90} sont des indices d'activité déterminés selon la norme de spécifications de l'addition considérée.

IMPORTANT - Il est de la responsabilité du fabricant de béton de recourir à la valeur du coefficient k adaptée à l'addition utilisée et de disposer des éléments de justification par son fournisseur.

4.2.2. Nouveautés pour le contrôle des additions

CAS GÉNÉRAL

Pour les cendres volantes et laitiers moulus de haut-fourneau normalisés pouvant être comptabilisés dans le liant équivalent, le nouveau tableau NA.9b (Tableau 4 ci-dessous) indique les exigences associées à chaque valeur de k , le coefficient de prise en compte de l'addition.

Tableau 4

Tableau 9b de la norme Béton NF EN 206+A2/CN : 2025

TYPE D'ADDITION	VALEUR DE k	CARACTÉRISTIQUE	FRÉQUENCE MINIMALE DE MESURES	VALEUR MOYENNE MINIMALE SUR 12 MOIS GLISSANTS	NOMBRE MAXIMAL ADMISSIBLE DE VALEURS COMPRISES ENTRE LA VALEUR MOYENNE MINIMALE ET LA VALEUR LIMITE MINIMALE SUR 12 MOIS GLISSANTS	VALEUR LIMITE MINIMALE ABSOLUE APPLICABLE À CHACUN DES RÉSULTATS
CENDRES VOLANTES	0,70	i_{28}	2 fois /mois *	0,87	2 valeurs	0,83
		i_{90}	2 fois /mois *	0,99	2 valeurs	0,95
	0,60	i_{28}	2 fois /mois *	0,83	2 valeurs	0,80
		i_{90}	2 fois /mois *	0,95	2 valeurs	0,90
	0,50	i_{28}	2 fois /mois *	0,80	2 valeurs	0,75
		i_{90}	2 fois /mois *	0,90	2 valeurs	0,85
	0,40	i_{28}	pas d'exigences supplémentaires par rapport à la norme nf en 450-1			
		i_{90}				
LAITIERS MOULUS	0,9 classe A	i_7	2 fois / semaine *	0,65	5 valeurs	0,62
		i_{28}	2 fois / semaine *	0,85	5 valeurs	0,82
		finesse en m^2/kg	2 fois / semaine *	420	5 valeurs	370
		indice de basicité $(CaO+MgO)/SiO_2$	1 fois / mois *	1,2	1 valeur	1,1
	0,9 classe B	i_7	2 fois / semaine *	0,65	5 valeurs	0,60
		i_{28}	2 fois / semaine *	0,85	5 valeurs	0,80
		finesse en m^2/kg	2 fois / semaine *	325	5 valeurs	275
		indice de basicité $(CaO+MgO)/SiO_2$	pas d'exigences supplémentaires par rapport à la norme nf en 15167-1			
	0,6	i_7	pas d'exigences supplémentaires par rapport à la norme nf en 15167-1			
		i_{28}				
		finesse en m^2/kg				
		Indice de basicité $(CaO+MgO)/SiO_2$				

* L'indication de ces cases correspond à la fréquence des mesures réalisées au titre du contrôle interne du fournisseur d'addition.

NOTE 1 : Pour les contrôles, prélèvements, échantillonnages et mesures réalisés selon la norme de spécification de l'addition concernée, par un laboratoire indépendant du fournisseur d'addition et disposant d'un système d'assurance de la qualité et de références probantes sur cette activité (un laboratoire accrédité sur cette activité répond à ces exigences), la fréquence est d'au moins tous les deux mois, ou mensuellement dans le cas particulier traité en NA.F.3 de la norme NF EN 206+A2/CN.

NOTE 2 : Les essais de mesure des indices d'activité i_7 , i_{28} , i_{90} sont réalisés conformément à la norme de spécifications de l'addition considérée.

Ces exigences portent sur les fréquences de prélèvements et les résultats des mesures effectuées sur des échantillons d'addition. Il s'agit de :

- La fréquence minimale des prélèvements et mesures à respecter par le fournisseur,
- La valeur moyenne minimale à respecter sur douze mois glissants,
- La valeur limite absolue applicable à chacun des résultats.



IMPORTANT - Les éléments de justification sont transmis par le fournisseur d'addition au producteur de béton qui choisit ensuite la valeur du coefficient k à appliquer pour le calcul du liant équivalent.

EXEMPLE : UTILISATION EN LIANT ÉQUIVALENT D'UN LAITIER MOULU DÉCLARÉ DE CLASSE A PAR LE FOURNISSEUR

L'utilisateur récupère régulièrement auprès du fournisseur les éléments justifiant que :

- **L'indice d'activité** mesuré à sept jours est vérifié deux fois par semaine, sur douze mois glissants ; la moyenne sur 12 mois glissants est supérieure à 0,65 ; aucune des valeurs mesurées ne doit être inférieure à 0,62 ; il est toléré un maximum de cinq valeurs comprises entre 0,65 et 0,62 sur douze mois glissants.
- **L'indice d'activité mesuré à vingt-huit jours** est vérifié deux fois par semaine, sur douze mois glissants ; la moyenne sur 12 mois glissants est supérieure à 0,85 ; aucune des valeurs mesurées ne doit être inférieure à 0,82 ; il est toléré un maximum de cinq valeurs comprises entre 0,85 et 0,82 sur douze mois glissants.
- **La finesse du laitier** est vérifiée deux fois par semaine ; la moyenne sur 12 mois glissants est supérieure à 420 m²/kg sur douze mois glissants ; aucune des valeurs mesurées ne doit être inférieure à 370 m²/kg ; il est toléré un maximum de cinq valeurs comprises entre 420 et 370 m²/kg sur douze mois glissants.
- **L'indice de basicité** est vérifié une fois par mois ; la moyenne sur 12 mois glissants doit être supérieure à 1,2 sur douze mois glissants ; aucune des valeurs mesurées ne doit être inférieure à 1,1 ; il est toléré au plus une valeur comprise entre 1,1 et 1,2 sur douze

mois glissants.

- **Les résultats obtenus** par un laboratoire indépendant et accrédité pour les prélèvements et essais devant être réalisés (norme NF EN 15167-1).

Si l'une des exigences relatives à la classe A n'est pas respectée, deux cas sont possibles pour le producteur de béton :

- **Considérer le laitier moulu comme étant de classe B**, si les résultats d'analyse respectent les exigences pour cette classe ; dans ce cas :

- $k = 0,9$;

- Le béton est formulé selon les tableaux NA.F.1 et NA.F.2 et non pas selon les tableaux NA.F.3 ni NA.F.4 de la norme béton (en effet, les combinaisons ciment et laitier des tableaux NA.F.3 et NA.F.4 nécessitent un laitier de classe A).

- **Sinon, considérer le laitier moulu comme n'étant ni de classe A ni de classe B**, mais répondant uniquement de la norme produit (NF EN 15167-1), du fait de son marquage CE ; dans ce cas ;

- $k = 0,6$;

- Le béton est formulé selon les tableaux NA.F.1 et NA.F.2, pas les tableaux NA.F.3 et NA.F.4.

■ CAS PARTICULIER DES BÉTONS D'INGÉNIERIE AVEC CEM I ET LAITIER DE CLASSE A EN CLASSE D'EXPOSITION XS2, XS3, XD2, XD3, XA1, XA2 OU XA3

Dans les tableaux NA.F.3 et NA.F.4, pour les classes d'exposition XS2, XS3, XD2, XD3, XA1, XA2 ou XA3, et dans le cas particulier de bétons d'ingénierie formulés avec une combinaison de ciment CEM I et de laitier moulu de classe A avec un taux de substitution $A/(A+C)$ strictement supérieur à 0,5, les taux maximaux de laitier des tableaux NA.F.3 et NA.F.4 sont utilisables à condition de respecter des exigences supplémentaires.

NB : On est dans le cas particulier de qualité des bétons d'ingénierie.

L'annotation " x) " des tableaux NA.F.3 et NA.F.4 renvoie aux exigences précisées à l'article NA.F.3 de l'annexe NA.F. de la norme béton. Ces exigences sont un renforcement du contrôle du ciment CEM I et du laitier moulu de classe A, ainsi que d'un renforcement de l'étude préliminaire et du contrôle sur béton, à savoir :

• **Utilisation d'un ciment CEM I bénéficiant d'une certification du contrôle de la production** (marque NF-liants hydrauliques ou équivalent)

• **Contrôle renforcé du laitier :**

- Contrôle du laitier de classe A par tierce partie effectué **tous les mois**, au lieu de tous les deux mois,

• **Etude préliminaire renforcée du béton d'ingénierie :** les contrôles de résistance à la compression lors de l'étude préliminaire doivent respecter deux conditions (voir article NA.A.6.2 de la norme béton) :

- Condition 1 : $f_{CE} \geq f_{ck} + 2 \cdot S$ avec S au minimum égal à 3 MPa ;

- Condition 2 : $f_{CE} \geq f_{ck} + \lambda \cdot (C_E - C_{min})$,

où :

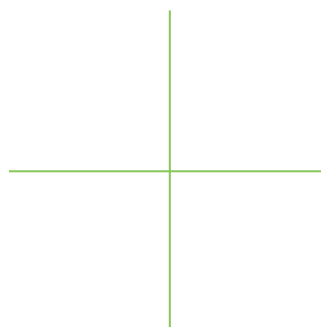
- f_{ck} est la résistance caractéristique spécifiée ;
- f_{CE} est la moyenne arithmétique des mesures effectuées sur ces trois éprouvettes, les essais étant réalisés suivant la norme NF EN 12390-3 en excluant de la moyenne les essais avec rupture incorrecte, et en transposant les résistances suivant les règles du NA.5.5.1.1 de la norme NF EN 206+A2/CN en fonction des dimensions des éprouvettes ;
- S l'écart-type prévisionnel de la distribution des résistances ;
- C_{min} est la valeur minimale de la résistance à la compression à 28 jours pouvant être respectée pour le ciment choisi, observée pendant une durée significative au cours de l'autocontrôle du fournisseur ;
- C_E est la résistance à la compression à 28 jours du ciment utilisé pour l'exécution de l'étude préliminaire ;
- λ est un coefficient pris égal à 1 sauf justification probante.

• **Contrôles renforcés de la production du béton :** augmentation des fréquences d'échantillonnage et d'essais du béton qui doivent être au minimum de :

- Dans le cas d'une unité de production certifiée, en production continue, 1 échantillon tous les 300 m³ ou 1 échantillon tous les 4 jours ou 1 échantillon par mois calendaire (pour la production initiale, le tableau 17 continue de s'appliquer) ;

- Dans le cas d'une unité de production non certifiée, en production initiale ou continue, d'un échantillon tous les 100 m³ ou 1 échantillon par jour de production.

Un exemple est donné dans ce guide, dans la partie Béton d'ingénierie.



5

Évolution des règles de formulation par approche prescriptive



5.1. Les classes d'exposition

• **La définition de la classe X0** a été clarifiée dans le § NA.4.2.1 pour être en adéquation avec les règles de l'Eurocode 2 :

- Les bétons comportant des armatures ou des pièces métalliques noyées ne relèvent pas de la classe X0.
- Même en l'absence d'armatures ou de pièces métalliques noyées, les bétons soumis à un risque d'attaque (gel/dégel ou attaque chimique) ne relèvent pas de la classe X0 mais respectivement des classes XF ou XA .

• **Ajout de la classe XC0 dans les tableaux NA.F.1 et NA.F.3 :**

Cette classe, définie au § NA.4.1.3 concerne les voiles intérieurs de bâtiment sans autres armatures que les chaînages (par exemple des murs de refend) de bâtiment sans autres armatures que les chaînages, situés en environnement sec.

Pour cette classe, les exigences en termes de résistance en compression et de rapport E_{eff}/L_{eq} sont moins sévères qu'en XC1 (Voir § 5.3 de ce document).

5.2. Les nouveautés pour le liant équivalent

Les nouveautés 2025 sont illustrées pour les trois cas possibles pour le liant équivalent (L_{eq}) :

• **Le liant équivalent est constitué d'un seul ciment:**
 $L_{eq} = C$

• **Le liant équivalent est constitué de deux ciments:**
 $L_{eq} = C1 + C2$ (béton d'ingénierie)

• **Le liant équivalent est constitué d'un ciment et d'une addition**, l'addition remplaçant une partie du ciment avec un coefficient de prise en compte k propre à l'addition : $L_{eq} = C + k \cdot A$, avec un taux maximal $A/(A+C)$ à respecter. Le contexte de béton d'ingénierie s'applique pour les taux les plus élevés dans les tableaux NA.F.3 et NA.F.4.

Pour rappel, si une plus grande quantité d'addition est utilisée, par exemple pour améliorer l'ouvrabilité du béton, l'excédent ne doit pas être pris en compte ni pour le calcul du rapport eau/(ciment + $k \cdot$ addition), ni pour le dosage minimal en liant équivalent. (cf. NA 5.2.5.2.1 de la norme).

Dans tous les cas, la teneur minimale en liant équivalent, le rapport maximal Eau efficace / Liant équivalent, et le taux d'addition maximal doivent respecter les seuils imposés dans les tableaux NA.F pour une classe d'exposition spécifiée. Selon le cas, les exigences sur le type de ciment(s) et d'addition sont également données dans les tableaux NA.F et les notes associées le cas échéant en fonction de la classe d'exposition.



5.2.1. Liant équivalent constitué d'un seul ciment

Lorsque le liant équivalent du béton est composé d'un ciment seul, le numéro du tableau NA.F à appliquer pour les exigences de composition des bétons est indiqué dans le nouveau Tableau NA.10a et dépend du type de ciment.

Note : Ces bétons ne sont pas soumis au contexte particulier des bétons d'ingénierie.

EXEMPLES :

- Si $L_{eq} = C = \text{CEM II/B}$,

Les ciments de type CEM II/B sont cités dans la colonne A du tableau NA.10a.

- Application du tableau NA.F.1 (BPE, préfa) ou du tableau NA.F.2 (préfa en usine uniquement) pour la formulation du béton.

- Si $L_{eq} = C = \text{CEM III/B}$,

Les ciments de type CEM III/B sont cités dans la colonne B du tableau NA.10a.

- Application du tableau NA.F.3 (BPE, préfa) ou du tableau NA.F.4 (préfa en usine uniquement).

5.2.2. Liant équivalent constitué de deux ciments

Un béton dont le liant équivalent est constitué de deux ciments est un béton d'ingénierie de **Type 1** (cf. §NA 3.1.1.21 de la norme béton). Il est donc soumis au contexte qualité particulier des bétons d'ingénierie (cf. section dédiée de ce guide).

Les exigences complémentaires sont les suivantes :

- **Les deux ciments doivent être conformes à la norme NF EN 197-1 ou NF EN 197-5 et doivent provenir du même fournisseur ;**
- **Un des deux ciments doit être de type CEM I, CEM II/A (hors CEM II/A-M) ou CEM II/B (hors CEM II/B-M), constitué d'un seul constituant principal autre que le clinker**

Note : Un CEM II/A-M ou CEM II/B-M peut néanmoins être utilisé avec un CEM I, CEM II/A (hors CEM II/A-M) ou un CEM II/B (hors CEM II/B-M).

- **La composition qui résulte du mélange des deux ciments doit correspondre à une composition de ciment de la norme NF EN 197-1 ou NF EN 197-5 ;**
- **Les deux ciments utilisés bénéficient d'une certification du contrôle de la production (marque NF-liants hydrauliques ou équivalent) ;**

- **Aucune addition ne peut être prise en compte dans le calcul de la teneur en liant équivalent ;**
- **Les exigences des tableaux NA.F.1, NA.F.2, NA.F.3 et NA.F.4 portant sur le ciment, s'appliquent au mélange des deux ciments, en particulier pour le respect des dispositions du fascicule de documentation FD P18-011, et pour la conformité aux normes NF P 15-317 (PM), NF P 15-318 (CP), NF P 15-319 (ES), et aux dispositions de la norme NF EN 197-1, relatives aux ciments SR (complétées par les exigences sur les teneurs en SO₃, C₃A, et C₄AF) ou relatives aux ciments LH, qui doivent faire l'objet d'une évaluation faisant partie de l'étude préliminaire (NA.A.6).**

EXEMPLES :

- **Cas 1 :** Un producteur de béton prêt à l'emploi prévoit d'utiliser deux ciments issus de l'usine X du producteur Tartempion, un ciment CEM II/A-LL 52,5 R CE CP2 NF de composition "LL10" (ie : 10% de calcaire en constituant principal autre que le clinker), ainsi qu'un ciment CEM II/C-M (S-LL) 42,5 N CE certifié NF-LH de composition "S20 LL19" (ie : 20% de laitier de haut-fourneau et 19% de calcaire en constituants principaux autres que le clinker). Le

producteur de BPE choisit de formuler son béton avec 60% de CEM II/A-LL et 40% de CEM II/C-M (S-LL). Le béton est destiné à une partie d'ouvrage en classe d'exposition XF1.

Dans ce cas, $L_{eq} = C1+C2 = 60\% \text{ CEM II/A-LL} + 40\% \text{ CEM II/C-M (S-LL)}$, avec :

- Le CEM II/A est conforme à la norme NF EN 197-1 et le CEM II/C-M à la norme NF EN 197-5. Un des deux ciments est de type CEM II/A hors CEM II/A-M. Les deux ciments sont certifiés marque NF-LH. Ils proviennent du même fournisseur.

- Pour vérifier la composition résultante des proportions de ciment considérées, on calcule la part de calcaire LL et la part de laitier de haut-fourneau S :

■ Teneur en calcaire du mélange :
 $60\% \cdot 10 + 40\% \cdot 19 = 13,6\%$

■ Teneur en laitier de haut-fourneau du mélange :
 $40\% \cdot 20 = 8\%$

Les teneurs en calcaire et laitier du mélange sont donc respectivement de 13,6 % et 8 %, ce qui correspond à une composition de ciment dans la norme NF EN 197-1 (un CEM II/B-M (LL-S)).

- La combinaison CEM II/A + CEM II/C-M se trouve dans la colonne A du tableau NA.10a. Le producteur de béton doit donc appliquer le tableau NA.F.1 pour la classe d'exposition XF1. Aucune addition ne sera comptabilisée dans le Liant équivalent.

- Le producteur de béton applique les exigences qualité propres au béton d'ingénierie.

• **Cas 2:** Un producteur de béton prêt à l'emploi prévoit d'utiliser deux ciments du producteur DUPOND de deux usines différentes : un CEM II/A-S 52,5 N CE PM NF de composition "S15" (ie: 15% de laitier de haut-fourneau en constituant principal autre que le clinker) de l'usine Y, ainsi qu'un ciment CEM III/B 42,5 N SR CE de l'usine Z de composition "S70" (ie: 70% de laitier de haut-fourneau en constituant principal autre que le clinker). Les deux ciments sont certifiés marque NF-LH. Le producteur choisit de formuler son béton avec 50% de CEM II/A-S et 50% de CEM III/B. Le béton est destiné à une partie d'ouvrage en classe d'exposition XS3.

Dans ce cas, $L_{eq} = C1+C2 = 50\% \text{ CEM II/A-S} + 50\% \text{ CEM III/B}$.

- Le CEM II/A prévu est conforme à la norme NF EN 197-1 et le CEM III/B prévu à la norme NF EN 197-1. Un des deux ciments est bien de type CEM II/A hors CEM II/A-M. Les deux ciments sont certifiés marque NF-LH. Ils proviennent du même fournisseur.

- Pour vérifier la composition résultante des proportions de ciment considérées, on considère la part de laitier de haut-fourneau S, qui est le seul constituant principal autre que le clinker pour le mélange :

■ Teneur en laitier du mélange :
 $50\% \cdot 15 + 50\% \cdot 70 = 42,5\%$

- La composition du mélange correspond donc à une celle d'un ciment de la norme NF EN 197-1, à savoir un CEM III/A.

- La combinaison correspondant à un CEM III/A avec moins de 50% de laitier, d'après le tableau NA.10a, c'est le tableau NA.F.1 qu'il faut appliquer.

- Étant donné la classe d'exposition visée (XS3), les critères chimiques 'PM' du mélange considéré sont à vérifier. Ceci est fait par le producteur de béton, à partir des fiches techniques produit des ciments que le producteur de ciment met à disposition. Dans cet exemple, il faut vérifier les critères 'PM' pour un ciment CEM III/A au sens de la norme NF P 15-317.

- Aucune addition ne sera comptabilisée dans le liant équivalent.

- Le producteur de béton applique les exigences qualité propres au béton d'ingénierie.

5.2.3. Combinaisons ciment et addition ($L_{eq} = C + k \cdot A$)

En plus des CEM I et CEM II/A, **les ciments de type CEM II/B et CEM III/A peuvent à présent être utilisés en combinaison avec une addition normalisée dans le liant équivalent**. Comme pour les CEM I et CEM II/A déjà autorisés en combinaison avec une addition, les CEM II/B et CEM III/A doivent être de classe mécanique 42,5 ou 52,5.

Note : Les ciments de classe 32,5 peuvent bien être utilisés pour formuler des bétons. La quantité de liant équivalent est alors la quantité du ciment seul ; une éventuelle addition n'est alors pas comptabilisée dans le L_{eq} .

Avec un CEM II/B ou un CEM III/A **en combinaison avec une addition, les valeurs du coefficient k de prise en compte de l'addition sont les mêmes que pour les ciments CEM I et CEM II/A, et restent propres à l'addition**. Ce sont les taux d'addition $A/(A+C)$ qui sont adaptés pour tenir compte du fait que ces ciments contiennent une part significative d'ajout(s).

Note : Selon la nature de l'addition et du ciment, des règles additionnelles à respecter peuvent porter sur le ciment, en fonction de la classe d'exposition. Ceci est indiqué par une annotation dans le tableau.

Les combinaisons autorisées de ciment et d'addition sont mentionnées dans le tableau NA.F.1 et le tableau NA.F.2 (réservé à la préfabrication en usine).

D'autres combinaisons « ciment et addition » sont autorisées dans le tableau NA.F.3 (et dans le tableau NA.F.4 pour la préfabrication en usine), dans le contexte particulier des bétons d'ingénierie.

EXEMPLE :

Pour un ciment CEM II/B-M (LL-Q) + un laitier de classe A, un D_{max} de 20 mm, une classe d'exposition XC1 :

- $L_{eq} = (\text{CEM II/B-M (LL-Q)} + 0,9 \cdot \text{Laitier classe A})$ doit être $\geq 260 \text{ kg/m}^3$;
- hors béton d'ingénierie -> application du tableau NA.F.1, pour la classe XC1 -> taux de laitier à respecter : $\text{Laitier} / (\text{CEM II/B} + \text{Laitier}) \leq 0,2$;
- en béton d'ingénierie -> application du Tableau NA.F.3 -> taux de laitier à respecter : $\text{Laitier} / (\text{CEM II/B} + \text{Laitier}) \leq 0,35$.

5.3. Les nouveaux tableaux NA.F

Les quatre tableaux de l'annexe NA.F ont été révisés. Leur utilisation pour la formulation des bétons reste, elle, inchangée.

Note : Pour le BPE, on se réfère aux tableaux NA.F.1 et NA.F.3 qui précisent donc, par classe d'exposition, les exigences de composition des bétons en termes de teneur en liant équivalent minimum, de rapport Eau efficace / Liant équivalent maximum, de quantité d'air minimale (XF2, XF3 et XF4), de classe de résistance minimale à satisfaire. Dans le cas de combinaisons (ciment + addition), dans le liant équivalent, les taux maximaux d'addition sont indiqués en fonction du ciment et de l'addition.

Les tableaux NA.F.2 et NA.F.4 sont réservés aux bétons fabriqués en usine de préfabrication.



LES NOUVEAUTÉS 2025

- L'ajout d'une colonne pour la classe d'exposition XC0 dans les tableaux NA.F.1 et NA.F.3 ;
- L'augmentation des taux d'addition (rapport $A/(A+C)$) pour quasiment toutes les combinaisons possibles par rapport à la version 2022 ;
- L'ajout de nouvelles lignes ouvrant à des combinaisons CEM II/B ou CEM III/A avec une addition normalisée, en plus des combinaisons avec les ciments CEM I et CEM II/A ;
- Les annotations qui complètent les tableaux ont un référencement commun à tous les tableaux.

Note : certaines annotations de la version 2022 ont été transférées dans le corps du texte de la norme (par exemple, les règles sur les teneurs minimale en liant équivalent en fonction du diamètre D_{max} des granulats).

5.4. Variation du dosage minimal en liant équivalent en fonction du $D_{\max}$

Comme on le sait, les dosages minimaux en L_{eq} pour chaque classe d'exposition (tableaux NA.F) sont définis pour $D_{\max} = 20$ mm.

La version 2022 de la NF EN 206+A2/CN définit une modulation dans ces dosages en fonction du $D_{\max}$ des granulats du béton : en particulier, pour les $D_{\max}$ inférieurs à 20 mm, ceci implique une **augmentation du dosage en L_{eq}** , donc, un bilan carbone plus défavorable.

Il s'avère que cette augmentation, dont la raison principale est d'assurer une bonne compacité du mélange, peut conduire à une fc_{28j} largement supérieure à celle de la classe de résistance minimale définie par la classe d'exposition ou établie par le dimensionnement de l'ouvrage.

En raison de cela, la version 2025 de la NF EN 206+A2/CN (NA.5.3.2.1.2.1) propose une règle alternative permettant d'atteindre le même but (compacité du mélange) en augmentant le volume de pâte par l'introduction d'additions, et ceci sans augmentation du liant équivalent par rapport au diamètre $D_{\max} = 20$ mm.

NB : La règle de 2022 reste en vigueur, en plus de la règle alternative 2025.

Pour appliquer la règle alternative, **il est considéré la somme de :**

- C : la quantité de ciment par m^3 ;
- A_{tot} : la quantité totale d'addition par m^3 , indépendamment de sa fonction dans la formule (contribution au liant équivalent ou correcteur granulaire).

Les formules béton devront respecter les contraintes suivantes :

Pour $D_{\max} \leq 12,5$ mm :

$(C + A_{tot}) \geq 1,24$ (L_{eq} mini. pour $D_{\max} = 20$ mm)

Pour $D_{\max} = 14$ mm :

$(C + A_{tot}) \geq 1,18$ (L_{eq} mini. pour $D_{\max} = 20$ mm)

Pour $D_{\max} = 16$ mm :

$(C + A_{tot}) \geq 1,12$ (L_{eq} mini. pour $D_{\max} = 20$ mm)

Le dosage minimum en L_{eq} reste le même que pour le $D_{\max} = 20$ mm [cette valeur est désignée par (L_{eq} mini. pour $D_{\max} = 20$ mm)] et est spécifiée dans les tableaux NA.F.

L'origine des équations ci-dessus (exprimées en termes massiques) est de garantir que la formule béton possède une compacité suffisante (par un apport en fines suffisant). Ceci est établi si **le volume de pâte de cette formule est supérieur ou égal à celui de la formule du béton de même $D_{\max}$, lorsqu'elle est réalisée en ciment uniquement.**

Note 1 : Le volume de pâte ayant servi à établir cette règle est obtenu par la somme des volumes de ciment, d'additions et d'eau. Le formulateur n'a pas besoin de réaliser ce calcul (il se reporte à la règle en termes massiques énoncée dans la norme).

Note 2 : Cette possibilité est une alternative à la modulation du dosage en L_{eq} , qui reste toujours applicable.

Note 3 : Pour garantir la durabilité, les exigences des tableaux NA.F doivent être appliquées (E_{eff} / L_{eq} maxi, $A/(A+C)$ maxi, etc.).

DEUX EXEMPLES POUR ILLUSTRER L'APPLICATION DE LA MÉTHODE

EXEMPLE 1 : cas où la formule utilisée permet de répondre aux exigences sans modification du dosage en addition :

Béton en classe d'exposition XC1, avec addition calcaire, dont le $A/(A+C)$ est égal à 0,3.

La modulation du L_{eq} , lors de la réalisation de ce béton en ciment uniquement (p.ex. en CEM I), comporte une augmentation du dosage en ciment, et des volumes de pâte.

En particulier, pour $D_{\max} = 16$ mm nous avons un volume de pâte de 266 L/m³, et pour $D_{\max} = 12$ mm nous avons 278 L/m³.

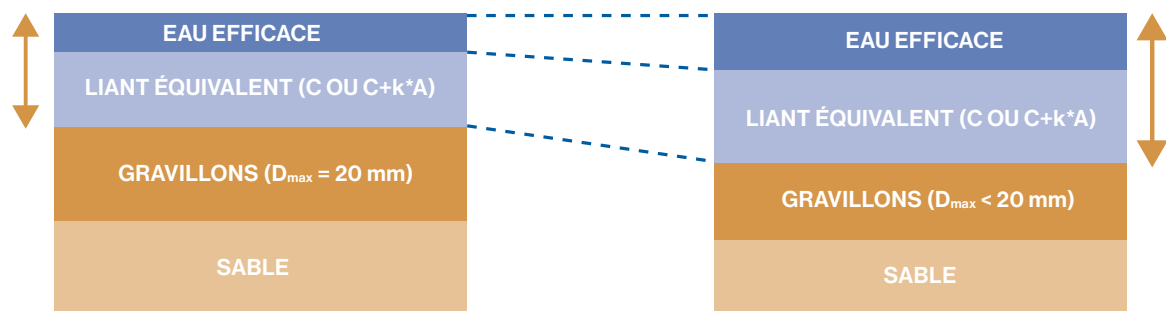
Dans la version précédente de la norme (2022), lors de l'utilisation d'une addition calcaire à $A/(A+C) = 0,3$, la seule manière de procéder était d'augmenter proportionnellement le dosage en ciment et en addition, de manière à obtenir une masse de L_{eq} plus importante (méthode de base).

Cette règle reste toujours applicable dans la nouvelle version de la norme. Cependant, si l'on souhaite appliquer, en alternative, la nouvelle méthode (version 2025 de la norme), il est nécessaire de vérifier la condition sur $(C+A_{tot})$, tout en maintenant le dosage minimal en L_{eq} correspondant $D_{\max} = 20$ mm (Figures 4 et 5). Les seuils maximaux de E_{eff}/L_{eq} et $A/(A+C)$ du liant équivalent doivent aussi être respectés.

Figure 4

Schéma explicatif d'un m³ de béton, non à l'échelle.

Règle de base pour $D_{\max} < 20$ mm :



Alternative pour $D_{\max} < 20$ mm :

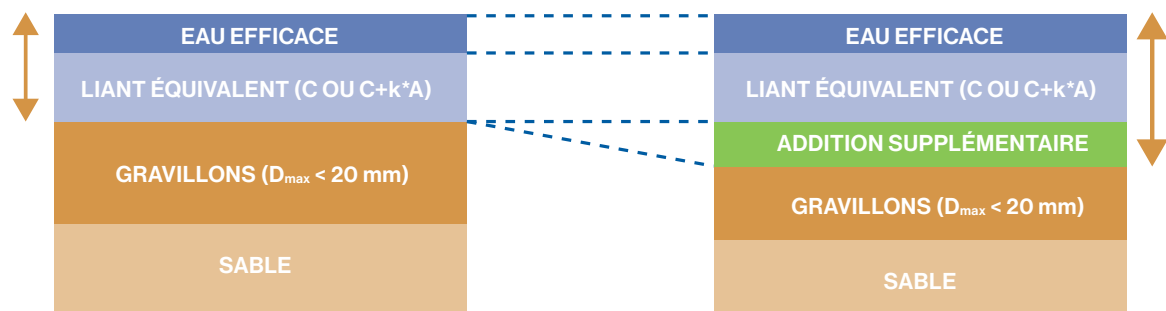
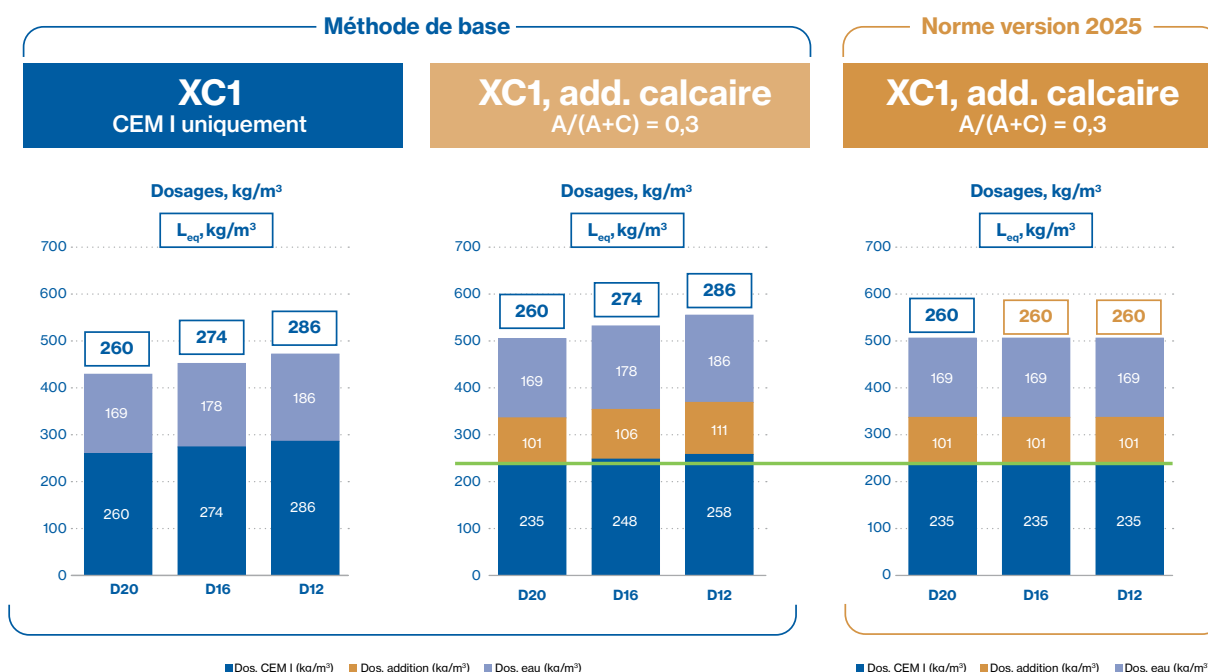


Tableau 5

Exemple 1 d'application de la méthode de modulation version 2025.

	MÉTHODE DE BASE						MÉTHODE ALTERNATIVE		
	FORMULATION EN CIMENT SEUL			FORMULATION EN L_{eq} (MODULATION DU L_{eq})			FORMULATION EN L_{eq} (MÉTHODE ALTERNATIVE)		
$D_{\max}$ (mm)	20	16	12	20	16	12	20	16	12
Dos. CEM I (kg/m ³)	260	274	286	235	248	258	235	235	235
Dos. add. calcaire (kg/m ³)	0	0	0	101	106	111	101	101	101
Dos. eau (kg/m ³)	169	178	186	169	178	186	169	169	169
E_{eff}/L_{eq}	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65
$A/(A+C)$	0	0	0	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30
L_{eq}	260	274	286	260	274	286	260	260	260
V pâte	253	266	278	283	299	311	283	283	283
$(C+A_{tot})$	260	274	286	336	354	369	336	336	336
Dosage $(c+A_{tot})$ mini								$1,12 \cdot 260$ = 291	$1,24 \cdot 260$ = 322

$A_{tot} = A$ dans le liant équivalent + A supplémentaire

Figure 5**Exemple 1 d'application de la méthode de modulation version 2025**

Dans ce cas, il est à remarquer que le respect de la contrainte sur le L_{eq} correspondant à $D_{max} = 20$ mm (260 kg/m³) est suffisant pour que la condition sur $(C+A_{tot})$ soit vérifiée (Tableau 5).

En conséquence, il n'est donc pas nécessaire d'augmenter le dosage en ciment et en addition en passant de $D_{max} = 20$ mm à des diamètres inférieurs. Le volume de pâte correspondant à l'utilisation de l'addition calcaire (283 L/m³) est systématiquement supérieur au volume de pâte pour $D_{max} 20$ mm dans le cas d'utilisation de ciment seul (253 L/m³).



EXEMPLE 2 : cas où il est nécessaire d'ajuster le dosage en addition :

Béton en classe d'exposition XS3, avec addition laitier, dont le $A/(A+C)$ est égal à 0,4.

Comme dans l'exemple précédent, la modulation du L_{eq} , lors de la réalisation de ce béton en ciment uniquement (p.ex. en CEM I), comporte une augmentation du dosage en ciment, et des volumes de pâte.

En particulier, pour $D_{max} = 16$ mm nous avons un volume de pâte de 303 L/m³, et pour $D_{max} = 12$ mm nous avons 317 L/m³.

Selon la méthode de modulation du Liant équivalent, telle qu'établie par la version précédente de la norme (2022), lors de l'utilisation de laitier comme addition à $A/(A+C) = 0,4$, il est nécessaire d'augmenter proportionnellement le dosage en ciment et en addition, de manière à obtenir une masse de L_{eq} plus importante (méthode de base).

La nouvelle version de la norme, en alternative à cette augmentation, demande de vérifier la condition sur $(C+A_{tot})$, **tout en maintenant le dosage minimal en L_{eq} de $D_{max} = 20$ mm**, et en respectant les valeurs maximales de E_{eff}/L_{eq} et $A/(A+C)$ du liant équivalent pour la classe XS3.

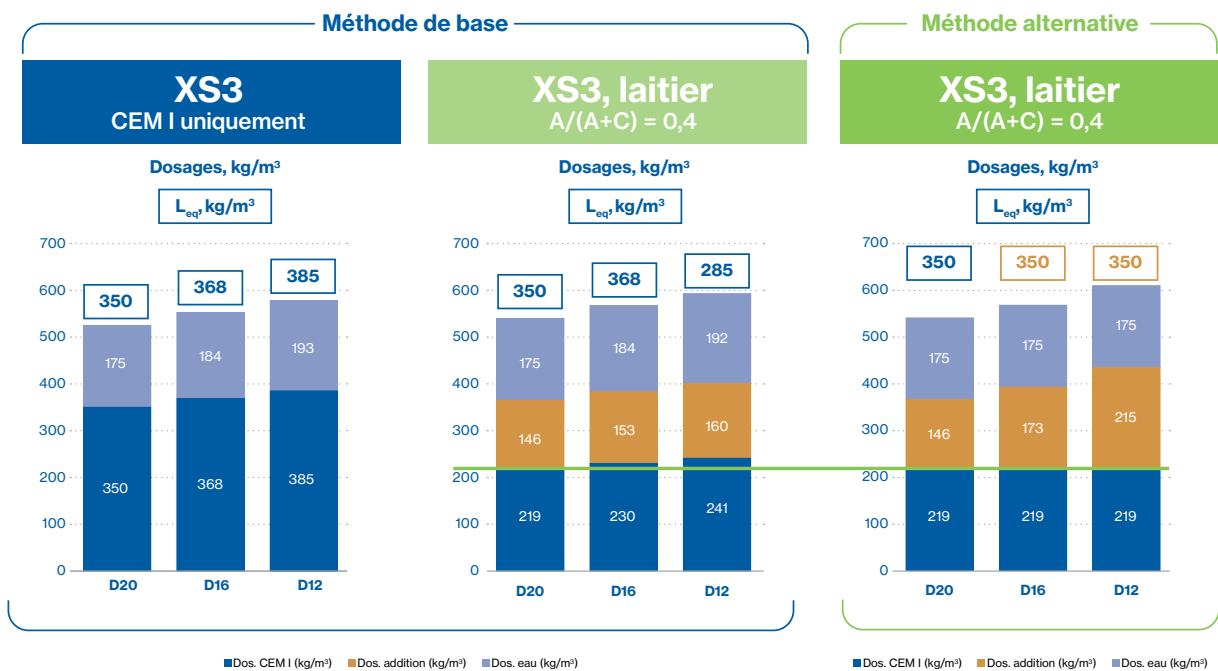
Tableau 6

Exemple 2 d'application de la méthode de modulation version 2025

	MÉTHODE DE BASE						MÉTHODE ALTERNATIVE		
	FORMULATION EN CIMENT SEUL			FORMULATION EN L_{eq} (MODULATION DU L_{eq})			FORMULATION EN L_{eq} (MÉTHODE ALTERNATIVE)		
D_{max} (mm)	20	16	12	20	16	12	20	16	12
Dos. CEM I (kg/m ³)	350	368	385	219	230	241	219	+27 219	219
Dos. add. laitier (kg/m ³)	0	0	0	146	153	160	146	173	+69 215
Dos. eau (kg/m ³)	175	184	193	175	184	192	175	175	175
E_{eff}/L_{eq}	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
$A/(A+C)$	0	0	0	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40
L_{eq}	350	368	385	350	368	385	350	350	350
V pâte	288	303	317	296	311	325	296	305	320
$(C+A_{tot})$	350	368	385	365	383	401	365	392	434
Dosage $(c+A_{tot})$ mini								$1,12 \cdot 350$ 392	$1,24 \cdot 350$ 434

Figure 6

Exemple 2 d'application de la méthode de modulation version 2025



Dans ce cas, il est à remarquer que le respect de la contrainte sur le L_{eq} correspondant à $D_{max} = 20$ mm (350 kg/m³) n'est pas suffisant pour que la condition sur $(C+A_{tot})$ soit vérifiée (Tableau 6) : il est donc nécessaire d'augmenter le dosage en addition afin que la masse totale $C+A_{tot}$ respecte la condition de majoration (+27 kg/m³ pour $D_{max} = 16$ mm et +69 kg/m³ pour $D_{max} = 12$ mm) (Figure 6).

Dans cet exemple et dans le précédent, l'application de la nouvelle règle à un D_{max} de 12 mm permet de réduire l'émission CO₂ liée aux liants respectivement de 6% et 9% par rapport à la règle précédente.

5.5. Les nouveautés pour les Bétons d'ingénierie



Plusieurs modifications touchant les bétons d'ingénierie ont été apportées dans le complément national afin de :

- **faciliter leur emploi;**
- **rendre leur identification plus claire;**
- **simplifier les dénominations des tableaux et les renvois;**
- **étendre leur emploi à de nouveaux ciments,**

de nouveaux mélanges de ciments ou de nouvelles combinaisons (ciment + addition), avec certaines conditions;

- **différencier les contrôles de leur production entre les unités de production bénéficiant ou non de la marque NF;**
- **clarifier ce que l'on attend d'une étude préliminaire.**

5.5.1. Modification de la définition des bétons d'ingénierie

Cinq modifications ont été apportées à la définition des bétons d'ingénierie (voir article NA.3.1.1.21 du complément national) :

- **Un béton d'ingénierie n'est plus limité à un projet donné, mais à une unité de production.** L'étude préliminaire a maintenant une durée de validité de 2 ans (sous réserve qu'il n'y ait pas de variations significatives des caractéristiques de l'un des constituants), et permet donc l'emploi du béton d'ingénierie en question sur plusieurs chantiers;
- **L'extension de la durée de validité** de l'étude préliminaire a pour conséquence que celle-ci peut désormais être réalisée à l'initiative de l'entreprise, du préfabriquant ou du producteur de béton. Toutefois, pour que l'étude soit utilisée sur un chantier, l'accord de l'ensemble des parties concernées (utilisateur, prescripteur, producteur et, le cas échéant, maître d'œuvre) demeure indispensable;
- **La fabrication du béton d'ingénierie** est soumise à un contrôle de conformité spécifique défini non plus dans le plan qualité de l'ouvrage, mais dans celui du producteur :

- Pour une unité de production certifiée (NF BPE ou NF en Préfa), le plan qualité n'a plus à être accepté par toutes les parties concernées, la certification faisant office de vérification ;

- Dans le cas où l'unité de production n'est pas certifiée, le plan d'échantillonnage et d'essais pour chaque propriété spécifiée doit faire l'objet d'un accord entre le prescripteur et le producteur de béton ;

• 3 types de bétons d'ingénierie sont introduits :

- **Type 1** : bétons comportant un mélange de deux ciments;

- **Type 2** : bétons comportant des additions à taux de substitution augmenté par rapport aux limites des tableaux NA.F.1 et NA.F.2;

- **Type 3** : bétons comportant certaines combinaisons (ciment + addition), relevant de classes d'exposition XA, définis comme des bétons d'ingénierie par le FD P18-011;

Les bétons d'ingénierie de type 3, relevant des tableaux NA.F.3 et NA.F.4 d'après le fascicule FD P18-011 sont, de fait, aussi des bétons d'ingénierie de type 2.

5.5.2. Comment déterminer si un béton doit être considéré comme un béton d'ingénierie ?

La conception du complément national a été repensée afin de mieux guider l'utilisateur, malgré la complexification des règles prescriptives relatives à la formulation des bétons. Ainsi, il a été décidé d'utiliser les nouveaux tableaux NA.10.a et NA.10.b pour orienter l'utilisateur et déterminer quels bétons doivent être considérés ou non comme des bétons d'ingénierie, ainsi que pour indiquer, suivant les cas, les tableaux NA.F à respecter (voir article NA.5.5.3.2.1.1 du complément national).

Le tableau NA.10.a est dédié aux ciments seuls ou aux mélanges de deux ciments. En fonction de son type et de ses constituants, le ciment ou le mélange

de deux ciments est classé dans la colonne A ou B du tableau. Tous ceux qui sont dans la colonne A doivent respecter les tableaux NA.F.1 ou NA.F. 2 ; alors que ceux de la colonne B relèvent des tableaux NA.F.3 et NA.F.4, bien que les bétons qui les utilisent ne soit pas considérés comme des bétons d'ingénierie. En revanche, les bétons formulés avec un mélange de deux ciments sont toujours des bétons d'ingénierie.

NOTE : Pour rappel, les tableaux NA.F.2 et NA.F.4 sont dédiés aux bétons préfabriqués.

Le tableau NA.10.b est dédié aux combinaisons (ciment + addition) et n'est là que pour rappeler que, dès qu'on dépasse les taux de substitution des ciments des tableaux NA.F.1 ou NA.F.2, on relève alors respectivement des tableaux NA.F.3 ou NA.F.4. (Voir également § 5.3 du présent document).



5.5.3. Contrôle de conformité des bétons d'ingénierie

Comme précédemment, un allègement des obligations a été introduit pour les unités de production certifiées NF BPE (Tableau 7) :

• **Seules les unités de production non certifiées doivent valider leur plan d'échantillonnage et d'essais avec le prescripteur** (voir NA.8.1 du complément national) ;

• **Pour les unités de production certifiées, on réintègre une différence entre la production initiale et la production continue** (cf. tableau 17 de la norme béton), avec quelques variantes s'il s'agit d'un béton d'ingénierie de type 2 (CEM I + laitier) relevant des tableaux NA.F.3 et NA.F.4 et des classes d'exposition où le taux de substitution du ciment par du laitier peut dépasser 50 % (voir articles NA.A.6.2 et NA.F.3 du complément national).

Tableau 7

Fréquence minimale d'échantillonnage des bétons d'ingénierie pour l'évaluation de la conformité

PRODUCTION	FRÉQUENCE MINIMALE D'ÉCHANTILLONNAGE POUR LES BI				
	50 PREMIERS m ³ DE LA PRODUCTION	Au-delà des 50 premiers m ³ de la production ^a , la fréquence la plus élevée étant obtenue avec :			
		Béton avec certification du contrôle de la production		Béton sans certification du contrôle de la production	
		Tous BI (sauf exception)	Exception*	Tous BI (sauf exception)	Exception*
INITIALE (jusqu'à ce que 35 résultats d'essais au moins aient été obtenus)	3 ÉCHANTILLONS	1 échantillon tous les 200 m ³ ou 1 échantillon tous les 3 jours de productions ^d	1 échantillon tous les 200 m ³ ou 1 échantillon tous les 3 jours de productions ^d	1 échantillon tous les 150 m ³ ou 1 échantillon pour jour de production ^d	1 échantillon tous les 100 m ³ ou 1 échantillon pour jour de production ^d
CONTINUE^b (une fois que 35 résultats au moins sont disponibles)	-	1 échantillon tous les 400 m ³ ou 1 échantillon tous les 5 jours de production ^{c, d} ou 1 échantillon par mois calendaire	1 échantillon tous les 300 m ³ ou 1 échantillon tous les 4 jours de production ^{c, d} ou 1 échantillon par mois calendaire		

* Pour les combinaisons (CEM I + laitier moulu de classe A) des tableaux NA.F.3 et NA.F.4, pour les classes d'exposition XS2, XS3, XD2, XD3, XA1, XA2 et XA3.

a • L'échantillonnage doit être réparti sur l'ensemble de la production et il convient de ne pas prélever plus d'un échantillon par volume de 25 m³.

b • Lorsque l'écart-type calculé pour les 15 derniers résultats d'essais au moins dépasse les limites supérieures de s^o selon le tableau 19, la fréquence d'échantillonnage doit être augmentée à la fréquence requise pour la production initiale pour les 35 résultats d'essais suivants.

c • Ou si le nombre de jours de production est supérieur à 5 sur 7 jours calendaires consécutifs, une fois par semaine calendaire.

d • La définition d'un « jour de production » doit être indiquée dans les dispositions en vigueur sur le lieu d'utilisation.

5.5.4. L'étude préliminaire des bétons d'ingénierie

Les changements apportés dans le complément national, relatifs à l'étude préliminaire pour un béton d'ingénierie, sont de 3 ordres (voir articles NA.A.6 du complément national) :

- **si l'unité de production est certifiée NF BPE**, la validation de l'étude préliminaire est remplie de fait ;
- **si l'unité de production n'est pas certifiée**, l'étude préliminaire doit être soumise à l'acceptation du maître d'œuvre ;
- **l'étude préliminaire doit présenter un minimum de gâchées et de contrôles à effectuer** (voir tableau 8 ci-dessous) ;
- **des règles d'exploitation sont rappelées.**

Note : Pour rappel, l'étude préliminaire est renouvelée tous les deux ans (avant si changement significatif d'un constituant).



Tableau 8

Contenu de l'étude préliminaire

GÂCHÉE NOMINALE			DÉRIVÉES OPTIONNELLES EN EAU, CIMENT OU SABLE	
CONTRÔLES DES CONSTITUANTS	ESSAIS À L'ÉTAT FRAIS	ESSAIS À L'ÉTAT DURCI	ESSAIS À L'ÉTAT FRAIS	ESSAIS À L'ÉTAT DURCI
<ul style="list-style-type: none"> • Statistiques sur le ciment (détermination de C_{min}) • Contrôles de l'échantillon (détermination de CE) • Vérification de la Marque NF du liant si nécessaire 	<ul style="list-style-type: none"> • Respecter les fourchettes de variations du cahier des charges 	<ul style="list-style-type: none"> • $f_{CE} \geq f_{ck} + 2 S$ avec S au minimum égal à 3 MPa • $f_{CE} \geq f_{ck} + \lambda(CE - C_{min})^*$ • $f_{cm,2}/f_{cm,28}$ 	<ul style="list-style-type: none"> • Respecter les fourchettes de variations du cahier des charges 	<ul style="list-style-type: none"> • $f_{CE} \pm 0,15 f_{CE}$

** Pour les combinaisons (CEM I + laitier moulu de classe A) des tableaux NA.F.3 et NA.F.4, pour les classes d'exposition XS2, XS3, XD2, XD3, XA1, XA2 et XA3*



EXEMPLE

Voici un exemple d'étude préliminaire pour le cas d'un béton d'ingénierie de type 2, pour une combinaison (CEM I + laitier moulu de classe A), avec un taux de substitution $A/(A+C)$ de 0,45, en classe d'exposition XD2, avec une fluidité SF3 :

Tableau 9**Exemple d'étude préliminaire**

	UN GÂCHÉE POUR LA FORMULE NOMINALE	DÉRIVÉES OPTIONNELLES : • en eau (+/- 5 litres), • en ciment (+/- 20 kg/m³) • ou en sable (+/- 10 %)
CONTRÔLES DES CONSTITUANTS	<ul style="list-style-type: none"> • Statistiques contrôles externes mensuels pour le laitier • Statistiques d'autocontrôle pour le ciment (détermination du C_{min} garanti pour le ciment) • Vérification que le ciment est NF • Résistance à la compression de l'échantillon de ciment (CE) 	-
ESSAIS À L'ÉTAT FRAIS	<ul style="list-style-type: none"> • Contrôle de la consistance • Contrôle de la stabilité du béton • Contrôle d'écoulement à la boîte en L 	<ul style="list-style-type: none"> • Contrôle de la consistance • Contrôle de la stabilité du béton • Contrôle d'écoulement à la boîte en L
ESSAIS À L'ÉTAT DURCI	<ul style="list-style-type: none"> • Contrôles de la résistance à la compression à 28 jours 	<ul style="list-style-type: none"> • Contrôles de la résistance à la compression à 28 jours
INTERPRÉTATION DES RÉSULTATS	<ul style="list-style-type: none"> • Respect des fourchettes pour le béton frais • Respect de deux conditions pour les résistances : <ul style="list-style-type: none"> - Condition 1 : $f_{CE} \geq f_{ck} + 2 S$ avec S au moins égal à 3 MPa - Condition 2 : $f_{CE} \geq f_{ck} + \lambda(CE - C_{min})$ • Déterminer le rapport $f_{cm,2}/f_{cm,28}$ 	<ul style="list-style-type: none"> • Respect des fourchettes pour le béton frais • Respect de la fourchette suivante pour les résistances à la compression à 28 jours : $f_{CE} \pm 0,15 f_{CE}$

Bien que cela ne soit pas une modification du complément national, il est rappelé que l'utilisation du béton d'ingénierie doit être acceptée par l'ensemble des parties concernées (utilisateur, prescripteur et producteur), et avec l'accord du maître d'œuvre, le cas échéant.

5.5.5. Exigences complémentaires pour les bétons d'ingénierie

Les exigences complémentaires pour les bétons d'ingénierie des articles NA.F.2 et NA.F.3 du complément national ont été enrichies (voir § 5.3 du présent document)

5.6. Les minorations de la classe structurale

5.6.1. Généralités sur l'enrobage minimal et les classes structurales

L'Eurocode 2 partie 1-1 (NF EN 1992-1-1) indique, dans son § 4.4.1, que l'enrobage minimal des armatures tient compte des classes d'exposition et des classes structurales de la partie d'ouvrage (voir ci-dessous $C_{\min, \text{dur}}$ et les classes structurales S1 à S6, cas du béton armé et le tableau 10).

NOTE : les classes structurales selon Eurocode 2 : de S1 à S6 ; ne pas confondre avec les classes d'affaissement !

L'enrobage minimal $c_{\min}$ en fonction de la classe d'exposition et de la classe structurale Cas du béton armé (extrait § 4.4.1 Eurocode 2 partie 1-1 de 2004) :

(2)P La valeur à utiliser est la plus grande valeur de $c_{\min}$ satisfaisant aux exigences à la fois en ce qui concerne l'adhérence et les conditions d'environnement.

$$c_{\min} = \max \{ c_{\min, b} ; c_{\min, \text{dur}} + D_{C_{\text{dur}, g}} - D_{C_{\text{dur}, \text{st}}} - D_{C_{\text{dur}, \text{add}}} ; 10 \text{ mm} \} \quad \dots (4.2) \text{ avec :}$$

$c_{\min, b}$ enrobage minimal vis-à-vis des exigences d'adhérence, voir 4.4.1.2 (3)

$c_{\min, \text{dur}}$ enrobage minimal vis-à-vis des conditions d'environnement, voir 4.4.1.2 (5) qui renvoie au tableau 4.4N

$D_{C_{\text{dur}, g}}$ marge de sécurité, voir 4.4.1.2(6)

$D_{C_{\text{dur}, \text{st}}}$ réduction de l'enrobage minimal dans le cas d'acier inoxydable, voir 4.4.1.2 (7)

$D_{C_{\text{dur}, \text{add}}}$ réduction de l'enrobage minimal dans le cas de protection supplémentaire, voir 4.4.1.2 (8).

Tableau 10

Tableau 4.4N de l'Eurocode 2 - Valeurs de l'enrobage minimal $c_{\min, \text{dur}}$ requis vis-à-vis de la durabilité dans le cas des armatures de béton armé conformes à l'EN 10080

CLASSE STRUCTURALE	EXIGENCE ENVIRONNEMENTALE POUR $c_{\min, \text{dur}}$ (mm)						
	CLASSE D'EXPOSITION SELON TABLEAU 4.1						
	X0	XC1	XC2 / XC3	XC4	XD1 / XS1	XD2 / XS2	XD3 / XS3
S1	10	10	10	15	20	25	30
S2	10	10	15	20	25	30	35
S3	10	10	20	25	30	35	40
S4	10	15	25	30	35	40	45
S5	15	20	30	35	40	45	50
S6	20	25	35	40	45	50	55

Cette norme donne les règles pour déterminer une classe structurale (généralement S4 pour un bâtiment ou S6 pour un ouvrage d'art), dont des possibilités de minoration (respectivement majoration) de la classe lorsque des conditions favorables (respectivement défavorables) sont remplies.

5.6.2. Nouveau cas de minoration de la classe structurale dans l'Eurocode 2

Une nouveauté de la version 2025 de l'Eurocode 2 partie 1-1, qui a été reprise dans la version 2025 de la norme béton NF EN 206+A2/CN, est de prévoir des nouvelles règles en cas de minoration de la classe structurale pour les classes d'exposition XC1 à XC4, lorsque la nature du liant (ciment seul ou combinaison « ciment + addition ») remplit des conditions supplémentaires et lorsque la classe de résistance du béton dépasse un certain niveau supérieur au minimum des tableaux NA.F (voir tableau 11 ci-dessous).

Ce nouveau cas de minoration a donné lieu à la création, pour chaque classe XC1 à XC4, d'une « mention » – XC1(++), XC2(++), XC3(++), ou XC4(++), selon le cas – qui sera donnée par le prescripteur en complément de la classe d'exposition spécifiée (Tableau 11).

Tableau 11

Tableau 4.3NF (extrait de l'Eurocode 2 part 1-1 de 20025) - Modulations de la classe structurale recommandée, en vue de la détermination des enrobages minimaux $c_{min,dur}$ dans les Tableaux 4.4NF et 4.5NF

CRITÈRE	CLASSE D'EXPOSITION SELON TABLEAU 4.1							
	X0	XC1	XC2	XC3/XC4		XD1/XS1/ XA1	XD2/XS2/ XA2	XD3/XS3/ XA3
NATURE DU LIANT	-	XC1(++) ³⁾	XC2(++) ³⁾	XC3(++) ³⁾	XC4(++) ³⁾	-	-	-
		Béton conforme aux règles de l'annexe NA.F de la norme NF EN 206+A2/CN ⁴⁾ et de classe ≥ C35/45 à base de : <ul style="list-style-type: none">• soit du CEM I,• soit du CEM I avec addition⁵⁾ calcaire, laitier de haut-fourneau, cendres volantes ou bien métakaolin,• soit du CEM II/A-L (ou -LL), du CEM II/A-S, du CEM II/A-V ou bien du CEM II/A-Q,• soit du CEM II/A-M. Minoration de 1	Béton conforme aux règles de l'annexe NA.F de la norme NF EN 206+A2/CN ⁴⁾ et de classe ≥ C40/50 à base de : <ul style="list-style-type: none">• soit du CEM I,• soit du CEM I avec addition⁵⁾ calcaire ou laitier de haut-fourneau,• soit du CEM II/A-L ou -LL, du CEM II/A-S ou bien du CEM II/A-M (S,L ou LL) Béton conforme aux règles de l'annexe NA.F de la norme NF EN 206+A2/CN ⁴⁾ et de classe ≥ C45/55 à base de : <ul style="list-style-type: none">• soit du CEM I avec addition⁵⁾ cendres volantes ou métakaolin,• soit du CEM II/A-V ou du CEM II/A-Q,• soit du CEM II/A-M. Minoration de 1					

3) La mention XCi(++), et la référence à ce tableau 4.3NF sont des données complémentaires lors de la prescription du béton et font partie des spécifications d'exécution.

4) La norme NF EN 206+A2/CN permet d'utiliser des additions non prises en compte dans le calcul du liant équivalent, en complément des ciments ou des combinaisons autorisés. Dans ce cadre, seules des additions calcaires (NF P18-508) et siliceuses (NF P18-509) sont autorisées pour cette ligne du tableau.

5) Application des règles de l'annexe NA.F de la norme NF EN 206+A2/CN, avec $A/(A+C) \leq 0,20$ dans le liant équivalent.

C'est la note 3) ci-dessus qui indique que la nouvelle mention XC1(++), est donnée par le prescripteur (en plus de la classe d'exposition correspondante).

5.6.3. Prise en compte des nouvelles mentions dans la norme béton

Ces nouveautés apparaissent désormais dans la norme béton (version 2025) aux § mentionnés ci-dessous.

■ GÉNÉRALITÉS

NA.Avant-Propos

n) Nouvelles mentions XC1(++), XC2(++), XC3(++), et XC4(++), permettant de moduler la classe structurale (NA.6.2.3)

NA.3.2 Symboles et abréviations

XC1(++), XC2(++), XC3(++), XC4(++): Mentions à utiliser en cas de minoration de la classe structurale sur la base de la nature du liant.

■ RÈGLES POUR LE PRESCRIPTEUR

6.2 Spécifications des bétons à propriété spécifiées

NA.6.2.3 Données complémentaires

(3) Pour une classe d'exposition XC1, XC2, XC3 ou XC4, en cas de minoration de la classe structurale sur la base de la nature du liant, la mention XC1(++), XC2(++), XC3(++), ou XC4(++), du tableau 4.3.NF de la NF EN 1992-1-1/NA, qui renvoie à des limites de composition (reprises au NA.F.1 de la présente norme), doit être spécifiée et doit constituer une donnée complémentaire.

■ RÈGLES POUR LE PRODUCTEUR DE BPE POUR L'ÉLABORATION DE SES FORMULES

6.2 Spécifications des bétons à propriété spécifiées

Annexe NA.F, NA.F.1 Cas général

En cas de spécification d'une mention XC1(++), XC2(++), XC3(++), ou XC4(++), les exigences du tableau 4.3NF de la NF EN 1992-1-1/NA/A1:2025 doivent être appliquées.

Les exigences de la norme annoncées dans la note ci-dessus sont présentées dans le présent guide, remises en forme (Tableau 12).

Tableau 12

Exigences sur les compositions pour les mentions de minoration (XC1(++), XC2(++), XC3(++), ou XC4(++)).

MENTION DE MINORATION	EXIGENCES RÈGLES NA.F	EXIGENCE SUPPLÉMENTAIRE POUR LA CLASSE DE RÉSISTANCE	EXIGENCES SUPPLÉMENTAIRES POUR LE CHOIX DU CIMENT, OU DE LA COMBINAISON (CIMENT+ADDITION) POUR DU LIANT ÉQUIVALENT
XC1(++), ou XC2(++)	TOUTES RÈGLES NA.F	$\geq C35/45$	<ul style="list-style-type: none"> • CEM I seul (sans liant équivalent) • Ou liant équivalent = <ul style="list-style-type: none"> - CEM I + addition : <ul style="list-style-type: none"> > Addition calcaire > Laitier moulu > Cendre volante > Métakaolin - et $A/(A+C)_{\max} = 0,20$ • Ou CEM II/A-L ou -LL ou -S ou -V ou -Q ou -M, seul (sans liant équivalent)
XC3(++), ou XC4(++)	TOUTES RÈGLES NA.F	$\geq C40/50$	<ul style="list-style-type: none"> • CEM I seul (sans liant équivalent) • Ou liant équivalent = <ul style="list-style-type: none"> - CEM I + addition : <ul style="list-style-type: none"> > Addition calcaire > Laitier moulu - et $A/(A+C)_{\max} = 0,20$ • Ou CEM II/A-L ou -LL ou -S ou -M (S-L) ou -M (S-LL), seul (sans liant équivalent)
		$\geq C45/55$	<ul style="list-style-type: none"> • liant équivalent = <ul style="list-style-type: none"> - CEM I + addition : <ul style="list-style-type: none"> > Cendre volante > Métakaolin - et $A/(A+C)_{\max} = 0,20$ • Ou CEM II/A-V ou -Q ou tous -M, seul (sans liant équivalent)

En outre, les dispositions ci-dessus sont complétées par une restriction relative à l'utilisation d'additions hors liant équivalent, qui ne peuvent être que les additions calcaires ou les additions siliceuses² :

Annexe NA.F, NA.F.1 Cas général (voir article NA.F.1 de la norme béton)

Le présent document permet d'utiliser des additions non prises en compte dans le calcul du liant équivalent, en complément des ciments ou des combinaisons (ciment + addition) autorisés. Pour les bétons spécifiés avec la mention XC1(++), XC2(++), XC3(++), ou XC4(++), ces additions autorisées hors liant équivalent sont exclusivement les additions calcaires ou les additions siliceuses.

Cela peut concerner, par exemple, les bétons autoplaçants.

² cf. note 4) du tableau 4.3NF de l'Eurocode 2 ci-avant.

5.6.4. Quelques réflexions pour le producteur de BPE

On comprend donc que la nouvelle mention, faisant partie des « *données complémentaires spécifiées* » vient compléter la classe d'exposition. On aura donc, dans les spécifications, par exemple : « *classe d'exposition XC2, avec mention XC2(++)* ».

Par ailleurs, une telle mention – ex. XC2(++) – va mécaniquement augmenter l'empreinte carbone de nos formules, ce qui pourrait limiter la possibilité de répondre à des spécifications en termes de classe GWR dans certains cas.

Cette augmentation de l'impact du m³ de béton est généralement compensée par une utilisation plus efficace du béton dans la partie d'ouvrage concernée (baisse du volume de béton), sans augmenter l'impact carbone total de l'ouvrage, voire même en permettant de le diminuer.



6

Les méthodes performantielles



6.1. Généralités

L'approche performantielle (basée sur les résultats du Projet National PERFDUB), vise à valider la **durabilité des bétons** selon des *déterminations expérimentales*.

Elle se pose en ce sens comme une alternative à la méthode **prescriptive**.

La méthode prescriptive, qui est de loin la plus largement utilisée pour la formulation béton, est basée sur le respect de **limites de composition** de la formule béton (précisées dans les tableaux NA.F pour chaque classe d'exposition).

Le respect de ces limites (L_{eq} minimum, E_{eff}/L_{eq} maximum, et ainsi de suite) permet d'assurer la **durabilité des bétons** ainsi formulés, sur la base de l'expérience historique.

Le principe des méthodes performantielles est de permettre **une dérogation sur le respect des limites des compositions** des tableaux NA.F, pourvu qu'on démontre expérimentalement la durabilité des bétons ainsi formulés.

La méthode performantielle de formulation des bétons a été introduite lors de la révision 2022 de la NF EN 206+A2/CN, dans le cas de l'approche par composition unique (NA.5.3.3.1). Son application a été en effet assez limitée ; la version 2025 de la norme en présente une version d'application plus large, dite par domaine de composition (NA.5.3.3.2).

Dans les paragraphes suivants sont décrits les principes et les étapes de réalisation de l'approche performantielle.

6.2. Les indicateurs et les grandeurs associés à la durabilité

Deux notions préalables à la description des méthodes performantielles, et dont la distinction est importante :

• **La grandeur associée à la durabilité** : il s'agit de la grandeur physique qui décrit directement l'attaque subi par le béton pour une classe d'exposition donnée. Par exemple, pour les classes XS et XD (associées à l'action des chlorures sur les armatures du béton armé) la **grandeur associée à la durabilité** est le **coefficient de migration des ions chlorures**.

La mesure d'une *grandeur* de durabilité est assez complexe ; elle demande des outils expérimentaux spécifiques, et est réalisée à 90j de la gâchée du béton.

• **L'indicateur de durabilité** : il s'agit d'une mesure indirecte du comportement du béton vis-à-vis de la durabilité en épreuve de convenance et en contrôle de production ;

Pour toutes les classes d'exposition il n'y a que deux indicateurs de durabilité : **la porosité accessible à l'eau** et la **résistivité du béton**. Les outils pour mesurer les *indicateurs* sont plus simples, plus largement disponibles que ceux requis pour les *grandeurs*, et la réalisation de leur mesure est plus rapide.

Pour utiliser une métaphore médicale (figure 7), nous pouvons imaginer associer le suivi de l'état d'inflammation pulmonaire d'un patient avec une **radiographie thoracique** : il s'agit d'une mesure complexe, qui doit être organisée à l'avance, dont l'appareillage n'est pas forcément encore disponible partout ; elle donne une information directe sur l'état inflammatoire du patient.

Figure 7
L'approche performantielle



Une fois le diagnostic posé, il n'est pas nécessaire de réaliser une radiographie par jour pour suivre l'évolution de l'inflammation ; on peut par exemple se limiter à suivre, à l'aide d'un simple thermomètre, la **température corporelle** du patient, et vérifier dans quel sens elle évolue. La mesure de la température est rapide, ne demande qu'une faible organisation préalable, et est plus simple à réaliser qu'une radiographie.

Les méthodes performantielles sont basées sur la réalisation d'un nombre limité de mesures de grandeurs associées à la durabilité d'un

béton (principalement concentrées dans les phases d'étude) ; ces mesures des **grandeurs** sont **réalisées en parallèle avec celles des indicateurs** de durabilité (notamment dans les phases de convenance et de contrôle en production).

Le suivi des **indicateurs**, plus simple et plus rapide que celui des **grandeurs**, permet donc de déduire des informations sur la durabilité des bétons de manière indirecte en convenance et en contrôle, une fois les grandeurs de durabilité vérifiées en étude.

Les étapes de la démarche sont décrites dans les paragraphes suivants.

6.3. L'approche performantielle par composition unique

Cette version de l'approche performantielle est applicable dès la version 2022 de la NF EN 206+A2/CN. Elle concerne **une seule formule béton**, réalisée avec des constituants donnés, et applicable à un seul chantier (son application est convenue, naturellement, entre les parties).

Comme on l'a précisé dans le paragraphe « Généralités », l'application de la méthode performantielle consiste à déroger, pour une classe d'exposition donnée, sur une ou plusieurs contraintes de composition précisées dans les tableaux NA.F.

Une liste d'exemple des **limites de composition** sur lesquelles il est possible d'exercer une dérogation :

- **E_{eff}/L_{eq} maxi** ;
- **dosage mini L_{eq}** ;
- utilisation d'**un seul ciment** dans la recette (dans l'approche performantielle il est possible d'utiliser plusieurs ciments) ;
- Taux d'addition $A/(A+C)$ maxi dans L_{eq} ;
- « **Code** » **des granulats** (p.ex. absorption limitée pour la classe d'exposition XA3) ;
- **Dosage en granulats recyclés** (des quantités plus importantes peuvent être utilisées) ;
- **Nature du ciment** (p.ex. non PM pour une utilisation en XS2).

La classe d'exposition est une donnée d'entrée et n'est pas modifiable par l'approche performantielle ; de même, lors du dimensionnement du béton de la part du bureau d'études, la classe de résistance minimale ne peut pas faire l'objet d'une dérogation.

D'autre part, certaines obligations communes à l'approche prescriptive restent toujours en vigueur :

- L'ensemble des constituants doit avoir une aptitude générale à l'emploi selon la NF EN 206+A2/CN ;
- Le dosage en « liant total » (Addition(s) + ciment(s)) doit être égal au moins à :
 - 260 kg/m³ pour les classes XC et la classe XF1 ;
 - 300 kg/m³ pour les autres classes.
- La teneur en clinker du liant total doit être **≥ 15% (massique)** - dans le cas de l'approche à composition unique.

6.3.1. Niveau d'application de l'approche performantielle (uniquement dans le cas de la formulation unique)

Comme pour d'autres cas (prévention de la Réaction Alkali-Granulat ; prévention de la Réaction Sulfatique Interne), la méthode performantielle a des **niveaux d'application différents (Tableau 13)** en fonction de la catégorie de l'ouvrage et des classes d'exposition :

Tableau 13

Tableau 13 : niveaux d'application en fonction des catégories d'ouvrage et des classes d'exposition

	XC1	XA	AUTRES CLASSES
1 Éléments non structurels ou provisoires	N1	N2	N1
2 Bâtiments courants, DUP 50 ans	N1	N2	N2
3 Ouvrages GC, DUP 100 ans	N2	N3	N3

Ces différents niveaux d'application ont un impact surtout sur les conditions d'évaluation et de suivi des formules béton en étude et en production (voir article 6.3.2 de ce guide).

6.3.2. Approche performantielle absolue et comparative

En fonction de la classe d'exposition, il a été possible d'établir une base de données expérimentales plus ou moins consistante. Ceci a conduit à distinguer deux cas :

- Pour les classes **XC, XS et XD** les données expérimentales disponibles sont suffisamment nombreuses pour établir des **valeurs seuil**, que les grandeurs de durabilité doivent respecter.

On parle alors d'**approche performantielle ABSOLUE**.

- Pour les classes **XA**, les données expérimentales ne sont pas assez nombreuses pour indiquer des valeurs seuil à respecter. Il revient à celui qui réalise l'étude de prouver que le béton réalisé selon l'approche performantielle (c'est-à-dire en dérogeant aux limites de composition des tableaux NA.F) se comporte vis-à-vis de la durabilité au moins aussi bien qu'un béton de référence au sens du FD P18-480.

L'étude comporte donc l'analyse du béton performantiel et du béton de référence.

On parle alors d'**approche performantielle COMPARATIVE**.

Pour ce qui est des **classes XF**:

- la classe **XF1** : elle est traitée comme la classe **XC4**;
- la classe **XF2** : les bétons de cette classe d'exposition pouvant être assimilés à la classe XD3f (au sens de l'article NA.5.3.2.2 de la NF EN 206+A2/CN et de l'article. 4.3.6 du FD P18-480), peuvent être traités en approche performantielle selon les spécifications de la classe XD3f.
- la classe XF2 – non assimilable à XD3f – et les classes XF3 et XF4, sont régies par les "Recommandations Gel" de l'Université Gustave Eiffel (ex LCPC)³.

Pour plus d'information voir FD P18-480 et guide SNBPE (en cours de rédaction).

³ Université Gustave Eiffel et Cerema, *Recommandations pour la durabilité des bétons soumis au gel - Environnements hivernaux rigoureux*, Marne-la-Vallée, Université Gustave Eiffel, 2021. Techniques et méthodes, GT16, 120 pages, ISBN 978-2-85782-754-2.

6.4. L'approche performantielle par domaine de composition

La version 2025 de la norme NF EN 206+A2/CN introduit aussi l'approche performantielle **par domaine de composition**.

C'est en effet l'une des nouveautés les plus importantes de la norme dans sa version 2025, et consiste à **définir préalablement un domaine de composition de formules de bétons** et à évaluer les grandeurs de durabilité s'y attachant.

Cette évaluation sert ensuite de base à l'analyse de toute formule spécifique dans ce domaine, et sur laquelle on peut limiter l'étude (dans la plupart des cas) à l'évaluation des indicateurs.

Pour plus d'information voir FD P18-480 et guide SNBPE (en cours de rédaction)

7

**Le nouveau
fascicule de
documentation
FD P18-484 et son
intégration dans la
norme béton**

Le nouveau fascicule de documentation FD P18-484 *Guide d'élaboration d'un dossier technique pour évaluer un nouveau liant ou une nouvelle addition* a été publié en août 2025. Il fait l'objet d'un référencement dans le complément national de la norme béton dans l'article NA.5.1.1.

Ce fascicule établit un cadre pour l'élaboration d'un dossier technique nécessaire à l'évaluation d'un nouveau constituant de type ciment, liant ou addition, pour une utilisation éventuelle dans des bétons destinés aussi bien à des ouvrages de bâtiment que de génie civil.

NOTE : Quand on parle d'un nouveau type de constituant, on fait référence à un constituant qui n'a pas encore de norme produit référencée dans la norme NF EN 206+A2/CN.

En effet, de nouveaux types de ciments, liants ou additions pourraient être proposés de plus en plus souvent aux producteurs BPE, dans le cadre de recherches de nouvelles solutions pour diminuer l'impact carbone des bétons.

Dans le FD P18-484, ces nouveaux constituants sont classés suivant 5 catégories pour un liant hors norme (1a, 1b, 2a, 2b ou 3) ou 3 catégories pour une addition hors norme (1, 2, 3) en fonction de leur nature et de leur comportement par rapport à des ciments ou additions connus et déjà référencés dans la norme NF EN 206+A2/CN. Selon ces catégories, les essais de caractérisation, ainsi qu'entre autres les vérifications des lois de comportement, exigées auprès des producteurs de ces nouveaux constituants, sont variables et considérés comme indispensables pour des évaluations précises de ces constituants pour une utilisation dans un béton. L'article NA.5.1.1 a donc été rédigé de façon que ce guide FD P18-484 serve de base à l'élaboration d'un dossier technique.

Trois situations peuvent alors se présenter :

a) **Si le nouveau type de constituant dispose d'une norme produit non encore reconnue dans la norme béton**, alors la commission P18B (en charge de l'élaboration du complément national

de la norme NF EN 206+A2) examine son aptitude générale à l'emploi sur la base des exigences de la norme produit en question et d'un dossier technique complémentaire présentant tous les essais et caractérisations du FD P18-484 qui ne seraient pas couverts par la norme produit.

b) **Si le nouveau constituant est d'un nouveau type non couvert par une norme produit, mais qu'il possède une Évaluation Technique Européenne (ETE) faisant spécifiquement référence à l'utilisation de ce constituant dans du béton conforme à la présente norme**, son producteur doit éventuellement compléter le dossier technique et le faire évaluer sur la base des essais recommandés par le FD P18-484 pour que l'évaluation encadre les conditions d'utilisation dans nos bétons en France (par exemple, limitation à certaines classes d'exposition, ou encore limitation du dosage dans le L_{eq} , ou des dispositions spécifiques liées au dimensionnement et à l'exécution de l'ouvrage).

c) Dans **tous les autres cas**, le producteur de ce nouveau constituant doit, après d'éventuels échanges avec un organisme reconnu pour délivrer une évaluation sur les essais recommandés, en particulier par le FD P18-484 selon la catégorie du produit, constituer son dossier technique et le soumettre à évaluation.

Dans le cas a), un amendement à (ou une révision de) la norme Béton sera nécessaire pour pouvoir utiliser ce matériau dans un béton conforme à la norme, que ce soit dans une approche prescriptive courante, un béton d'ingénierie ou dans une approche performantielle.

Dans le cas b), l'utilisation dans le béton peut se faire après avoir partagé la documentation avec toutes les parties (utilisateur, prescripteur, maître d'œuvre après information du maître d'ouvrage le cas échéant) et avoir obtenu leur accord. Une spécification de l'ETE utilisée dans le bon de livraison doit être faite, pour permettre l'identification du béton qui l'utilise.

Dans le cas c), ces bétons **sont donc non conformes** à la norme NF EN 206+A2/CN, et **doivent être couverts soit par un A_{Tex} ou un A_T ou équivalent**, et donc restreints à certaines utilisations avec des formulations encadrées.

8

Les bétons pour ouvrage provisoire

8. Les bétons pour ouvrage provisoire

Une nouvelle définition fait son apparition : la notion de béton « **pour ouvrage provisoire à durée de chantier** » (NA.3.1.1.24 et annexe NA.N).

Béton pour ouvrage (ou partie d'ouvrage) pour lequel l'ensemble des parties s'accordent à définir une durée d'utilisation limitée à la durée des travaux de réalisation du projet. Un tel ouvrage n'a pas de fonction définie autre que pendant la durée des travaux, et n'est pas réceptionné par le client final du projet (voir annexe NA.N).

Cela permet **d'alléger les exigences** des bétons lorsqu'ils ne servent que pour la durée d'un chantier, afin de **limiter leur impact carbone** sur le projet.



8.1. L'accord commun

Le recours à un béton d'ouvrage provisoire à durée de chantier est à l'initiative du concepteur ou sur proposition de l'entreprise. Les parties doivent se mettre d'accord sur la durée du chantier. Ces bétons ne font pas l'objet d'une réception du client final. Et ils ne sont pas destinés à être réutilisés en fin de projet.

8.2. Nouvelle annexe NA.N (normative)

Une nouvelle annexe **normative** a vu le jour en toute fin de norme. Elle traite exclusivement de ces bétons d'ouvrage provisoire.

Les tableaux **NA.F.1 à NA.F.4**, bien connus pour régir la formulation de la plupart des bétons, **ne sont pas applicables** pour ces bétons (sauf pour les bétons XF2/XF3/XF4). Un nouveau tableau (voir tableau 14

de ce guide) fait son apparition dans la norme béton : le tableau NA.N.1.

Il décrit les dérogations possibles en fonction des classes d'exposition, tout en précisant que les classes de résistance doivent **être conformes aux Eurocodes**.

Tableau 14

Tableau NA.N.1 de la NF EN 206+A2/CN pour les bétons pour ouvrage provisoire à durée de chantier

CLASSE STRUCTURALE	CLASSE D'EXPOSITION SELON TABLEAU 4.1															
	X0	XC0	XC1	XC2	XC3	XC4	XS1	XS2	XS3	XD1	XD2	XD3	XF1	XA1	XA2	XA3
CLASSE DE RÉSISTANCE MINIMALE	a)															
NATURE DU CIMENT	-	-	-	-	-	-	-	PM	PM	-	-	PM	-	-	-	-
NATURE DU LIANT	-	-	-	-	-	-	-	d)	d)	-	-	d)	-	b)	b)	b)
AUTRES EXIGENCES	-	-	-	-	-	-	c)	c)	c)	c)	c)	c)	-	-	-	-

a) Pas de classe de résistance minimale liée à la classe d'exposition, il faut respecter la classe de résistance conforme au dimensionnement de l'ouvrage pour l'application du calcul EC2 (résistance caractéristique).

b) Liant conforme au fascicule de documentation FD P18-011 sans application du concept relatif à E_{eff}/L_{eq} .

c) Une classe de résistance minimale C20/25 est appliquée pour les classes d'exposition XS et XD lorsque le liant utilisé est uniquement composé de CEM I ou CEM II/A-LL.

d) La composition de l'addition (teneur en sulfures, en sulfates, etc.) doit être telle que le liant respecte les exigences de NF P 15-317.

8.3. Les exigences à retenir

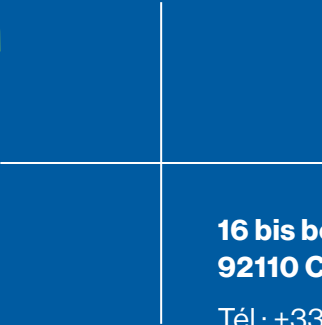
Des exigences spécifiques sont apportées concernant la formulation, la composition et la traçabilité de ces bétons.

- la teneur en **clinker** (ciment + addition) doit être de **15% minimum** ;
- le **mélange de 2 ciments est autorisé** ;
- les dérogations aux tableaux NA.8a et NA.8b sont possibles (sous réserve de l'accord des parties
- et sans dépassement de la classe de taux de substitution R3) ;
- le ciment doit être PM pour les classes d'expositions XS2, XS3 et XD3 ;
- un **taux supérieur** d'introduction de **granulats recyclés** peut être envisagé ;
- le **FD P18-011** doit s'appliquer pour les bétons XA.

8.4. Dénomination de ces bétons

Ces bétons doivent être **identifiés** clairement sur le Bon de Livraison avec la mention : PROV (en minuscule ou majuscule). **EXEMPLE : PROV C20/25 XC1 S3 D20 CI0,4**

s n b p e @ s n b p e . o r g



16 bis boulevard Jean Jaurès
92110 CLICHY

Tél: +33 1 44 01 47 01