

NF EN 206+A2/CN (2022)

NOUVELLE ANNEXE NATIONALE
ET EVOLUTIONS NORMATIVES ASSOCIÉES

OCTOBRE 2022



Sommaire

INTRODUCTION	03
LES POINTS D'ATTENTION	04
1 - LE CONTEXTE NORMATIF EUROPÉEN	05
1.1 Parution de la norme EN 206 + A2	05
1.2 Parution de la Norme EN 197-5	05
2 - LES PROJETS NATIONAUX ET L'ÉVOLUTION DU CONTEXTE NORMATIF FRANÇAIS	06
2.1 Les projets nationaux	06
2.1.1 Le PN RECYBETON	06
2.1.2 Le PN PERFDUB	06
2.2 L'évolution du contexte normatif français	07
2.2.1 Parution de la NF P 18-545	07
2.2.2 L'annexe nationale de la norme Eurocode EC2	07
2.2.3 Les normes ciments françaises	07
2.2.4 Les travaux du Groupe d'experts AFNOR P18B/GE UGS	07
3 - LES ÉVOLUTIONS DU COMPLÉMENT NATIONAL DE LA NF EN 206	08
3.1 L'utilisation des granulats	08
3.1.1 Les granulats recyclés	08
3.1.2 Les granulats de prémélange	09
3.1.3 Taux maximum d'incorporation des granulats recyclés	11
3.1.4 Les classes de bétons de granulats recyclés ou de prémélange	12
3.1.5 Les granulats d'excavation à teneur en sulfate élevée et le FD P 18-473	14
3.2 L'utilisation des ciments	15
3.2.1 Les ciments de la norme NF EN 197-5	15
3.2.2 Les modifications des règles d'emploi des ciments de la norme NF EN 197-1 et autres ciments du tableau NA 10	16

3.3 Les classes d'exposition _____	18
3.3.1 La classe XC1 _____	18
3.3.2 Les classes XD3 et XS3 _____	18
3.3.3 Les classes XA _____	18
3.4 L'introduction de l'approche performantielle _____	18
3.5 Le bon de livraison _____	19
3.6 Le gel _____	19
3.7 Annexe D Bétons pour travaux géotechniques spéciaux _____	20
4 - LES AUTRES ÉVOLUTIONS NORMATIVES OU TECHNIQUES _____	21
4.1 L'alcali réaction _____	21
4.2 Les recommandations pour les bétons soumis au gel _____	21
4.3 Le FD P 18-011 _____	22
4.4 Les normes d'essai de durabilité (sur bétons durcis) _____	22
4.4.1 XP P18-420 - "Béton - Essai d'écaillage des surfaces de béton durci exposées au gel en présence d'une solution saline" _____	22
4.4.2 XP P18-458 « Essai sur béton durci - Essai de carbonatation accélérée » _____	22
4.4.3 NF P18-459 - « Béton - Essai sur béton durci - Essai de porosité et de masse volumique » _____	22
4.4.4 XP P18-462 « Essai sur béton durci - Essai accéléré de migration des ions chlorure en régime non-stationnaire - Détermination du coefficient de diffusion apparent des ions chlorures » _____	23
4.4.5 XP P18-481 « Essai sur béton durci - Mesure de la résistivité électrique » _____	23
4.4.6 XP P18-482 « Béton - Essai sur béton durci - Essai de lixiviation à l'acide nitrique à pH constant » _____	23
4.5 Les normes d'essai sur bétons frais _____	23
4.5.1 XP P18-468 « Béton - Essai pour béton frais - Ressuage » _____	23
4.5.2 XP P18-475 « Béton - Essai pour béton frais - Ressuage forcé » _____	24
ANNEXE 1 _____	25
ANNEXE 2 _____	28

Introduction

La norme NF EN 206+A2/CN a été publiée en date du 13 Octobre 2022 avec une date d'entrée en vigueur au 5/11/2022.

Dans la suite du texte cette norme sera nommée NF EN 206/CN

Elle remplace la NF EN 206/CN (2014) publiée le 19/12/2014

La norme NF EN 206+A2/CN reproduit, sur fond blanc, le texte européen EN 206 : 2013 + A2:2021 et spécifie également, sur fond gris, les dispositions complémentaires à respecter en France lorsque le texte européen autorise l'application de normes nationales ou de dispositions particulières là où le béton est utilisé.



Il est important de noter que, l'avant-propos national précise :

Lorsqu'un document national fait référence à la norme NF EN 206 ou à la norme NF EN 206+A2, il y a lieu d'appliquer le présent document (NF EN 206+A2/CN)

Afin d'informer ses Adhérents et ses Partenaires, le SNBPE a décidé d'éditer le présent fascicule qui passe en revue les modifications apportées au complément national par rapport à la NF EN 206/CN : 2014.

Ce document est téléchargeable sur le site www.snbpe.org à la rubrique « normes et réglementaire », onglet « normalisation ».

Rappel : Lors de l'édition du texte européen, nombre de « Notes » du texte ont été déplacées, par les éditeurs du CEN (Comité Européen de Normalisation), vers l'Annexe L : « Informations complémentaires sur les parties spécifiques ». La raison en est que les règles de rédaction du CEN stipulent que les « Notes » ne peuvent contenir d'exigences, de recommandations ni accorder d'autorisations.

Dans la NF EN 206/CN, la plupart de ces notes, utiles à la compréhension, ont été répétées dans le corps du texte pour en faciliter la lecture. Elles sont encadrées en pointillés pour les distinguer.

Avertissement : le catalogue des normes AFNOR contient également la NF EN 206 : 2013 + A2 2021 qui ne reprend que le texte européen, et qui n'est pas applicable sans le complément national contenu dans la NF EN 206+A2/CN. L'avant-propos national de ce document précise, que lorsqu'un document national fait référence à la NF EN 206, il y a lieu d'appliquer la norme française NF EN 206/CN

Les points d'attention

Lors de l'élaboration de la présente Norme, les points essentiels suivants ont notamment fait l'objet d'une révision :

- a) Modification des prescriptions d'emploi pour les granulats recyclés et les granulats de prémélange.
- b) Introduction de la possibilité d'utilisation des ciments couverts par la norme NF EN 197-5 et modification des prescriptions d'emploi pour certains ciments.
- c) Ajout de principes relatifs aux concepts de performance pour la durabilité des bétons avec référence au fascicule FD P18-480 qui s'appuie sur des grandeurs associées à la durabilité vérifiées par des essais de performance pour vérifier que des formulations de béton, qui ne respectent pas les limites usuelles de composition mais dont tous les constituants sont conformes à leur norme de référence et aptes à l'emploi selon la norme NF EN 206 + A2/CN, sont adaptées pour obtenir la durée d'utilisation de projet spécifiée.
- d) Ajout de principes relatifs aux possibilités d'utilisation des recommandations provisoires pour l'utilisation de granulats issus de matériaux d'excavation et dont la teneur en sulfates est supérieure aux seuils normalisés.

01 Le contexte normatif européen

1.1 Parution de la Norme EN 206 + A2

En 2021 est paru, au niveau européen, l'amendement A2 de la norme EN 206.

L'amendement A2 a pour objet d'apporter les modifications nécessaires pour clarifier les recommandations relatives à l'évaluation de la conformité, ainsi que la correction de l'annexe C « Dispositions pour l'évaluation, la surveillance et la certification du contrôle de la production » : précédemment normative, cette annexe devient informative.

Cet amendement a été rendu nécessaire par l'évolution des règles du CEN (Comité Européen de Normalisation). Il est un préalable à une révision en profondeur de la norme prévue en 2025 environ.

1.2 Parution de la Norme EN 197 - 5

Entérinée en mai 2021, la norme européenne EN 197-5 « Ciment - Partie 5 : ciment Portland composé CEM II/C-M et Ciment composé CEM VI » a été officiellement publiée en version française NF EN 197-5 en septembre 2021 par l'AFNOR.

Elle donne un cadre très précis aux exigences techniques et de mise en œuvre concernant ces deux nouveaux types de ciments jusqu'ici non répertoriés par la norme EN 197-1 de 2011. Contrairement à l'EN 197-1, cette norme n'est pas harmonisée et n'a pas été publiée au Journal Officiel de l'Union Européenne, chaque pays l'intégrant sans modification dans sa collection nationale. Les ciments couverts par la norme EN 197-5 ne peuvent donc bénéficier du marquage CE. Ils peuvent par contre bénéficier de la marque NF LH (Cette condition est d'ailleurs nécessaire pour leur emploi dans un béton conforme à la NF EN 206 CN /A2)

02 Les projets nationaux et l'évolution du contexte normatif français

2.1 Les projets nationaux

2.1.1 PN Recybéton

De 2012 à 2018, le Projet National RECYBETON a mobilisé 47 acteurs de la communauté technique française concernée par le recyclage du béton.

Dans ce cadre les études menées ont conduit à préconiser un certain nombre d'évolutions normatives (normes d'essais, norme NF P 18-545, norme NF EN 206/CN, normes Eurocodes EC2) pour prendre le compte les avancées scientifiques liées à ce programme.

Les travaux d'incorporation de ces modifications normatives ont d'abord été menés dans le domaine des granulats (en 2020 et 2021) aboutissant à la parution de la norme NF P 18-545 en octobre 2021 puis elles ont été suivies par l'évolution du complément national de la norme NF EN 206 et des normes Eurocodes EC2.



2.1.2 PN PerfDuB

Le projet National PerfDuB avait entre autres pour objectif de définir une méthodologie à l'échelle nationale de justification de la durabilité des ouvrages en béton par une approche performantielle.

Cette approche s'applique aux ouvrages de génie civil, de bâtiments et produits préfabriqués en usine pour lesquels un suivi qualité rigoureux est prévu et mis en place aux différents stades :

- Etude et qualification de la formule
- Production du béton
- Mise en œuvre et contrôle

Elle s'appuie sur la vérification de grandeurs de durabilité via des essais de performance pour vérifier que des formulations de béton, qui ne respectent pas les limites usuelles de composition (approche prescriptive) mais dont tous les constituants sont conformes à leur norme de référence et aptes à l'emploi selon la norme NF EN 206 + A2/CN, permettent de répondre aux exigences de durabilité spécifiées pour les classes d'expositions visées.

Le projet National a regroupé 50 partenaires, entre 2015 et 2020 et a permis la préparation d'un fascicule de documentation, FD P 18-480, « Béton — Justification de la durabilité des ouvrages en béton par méthode performantielle ».

La nouvelle version de la NF EN 206/CN prend en compte cette approche.



2.2 L'évolution du contexte normatif français

2.2.1 Parution de la Norme granulats NF P 18-545

La nouvelle version de la norme NF P 18-545 est parue en octobre 2021. Elle incorpore un certain nombre de modifications dont les principales sont :

- La prise en compte des conclusions du PN RECYBETON et des évolutions normatives proposées relatives aux granulats dont les granulats de prémélange ;
- La Fiche Technique Produit (FTP) et les éléments à renseigner ;
- Le remplacement de la granularité type par la granularité de référence ;
- L'Article 13 sur les granulats légers

La révision de la NF EN 206/CN incorpore principalement les dispositions relatives aux conclusions du PN RECYBETON.

Voir également le § 3.1 de ce document

2.2.2 L'annexe nationale de la norme Eurocode EC2

Le nouvel amendement à l'annexe nationale de l'EC 2 partie 1-1 (NF EN 1992-1-1/NA) prend en compte les conclusions du projet national Recybéton concernant les règles de dimensionnement des bétons contenant des granulats recyclés. Sa parution simultanée avec celle de la NF EN 206+A2/CN a permis d'assurer une bonne coordination entre les deux documents.

Par ailleurs, un amendement pour l'utilisation des granulats recyclés dans l'annexe nationale de l'EC2 partie 1-2 (NF EN 1992-1-2/NA), calcul du comportement au feu est en cours de parution.

2.2.3 Les normes ciments françaises

2.2.3.1 NF P 15-302 : Liants Hydrauliques - Ciments à Usage Tropical- Composition, Spécifications et Critères de Conformité

Les modifications principales portent sur les points suivants :

- Filler pouzzolanique : Modification de la définition avec ajout des matériaux pouvant avoir une origine sédimentaire.
- Composition : Ajout de la possibilité d'introduire les constituants autres que le clinker seuls ou en combinaison
- Nouvelles désignations en ligne avec la NF EN 197-1 (CPZ devient CEM IV, ...)
- Changement de quelques limites de composition des constituants principaux

2.2.3.2 NF P 15-317 : Liants Hydrauliques — Ciments pour travaux à la Mer

Par rapport au document remplacé, la NF P 15-307 constitue principalement une mise à jour éditoriale. Il rend également éligibles, pour les travaux à la mer, les ciments à usage tropical couverts par la norme NF P 15-302.

2.2.4 Les travaux du groupe d'experts AFNOR P18B/GE UGS

Le Groupe d'Experts pour l'Utilisation des Granulats à teneur en Sulfate élevée 'GE UGS' de la commission AFNOR P18B (Bétons) avait été constitué en 2017 pour travailler sur les conditions d'utilisation dérogatoire de granulats naturels élaborés avec des matériaux d'excavation présentant des teneurs en sulfates solubles dans l'acide supérieures à 0,2%.

Ce groupe comprend 19 experts et leur travail a abouti au fascicule de document FD P18-473 - Recommandations provisoires pour l'utilisation dans les bétons de granulats dont la teneur en sulfates est supérieure aux seuils normalisés vis-à-vis de la formation d'ettringite secondaire d'origine interne et de thaumasite d'origine interne et à la norme d'essai expérimentale XP P18-472 - Essai de performance vis-à-vis du risque de gonflement d'un béton incorporant des granulats dont la teneur en sulfates est supérieure aux seuils normalisés dans les conditions de formation d'ettringite secondaire d'origine interne et de thaumasite d'origine interne.

La nouvelle version de la norme NF EN 206+A2/CN précise les conditions de l'application de ces documents, et des dispositions complémentaires à appliquer.

03 Les évolutions du complément national de la NF EN 206

3.1 L'utilisation des granulats

En application des recommandations du projet national RECYBETON et des modifications déjà intégrées dans la norme NF P 18-545 : 2021 les exigences liées à l'utilisation de granulats recyclés dans les bétons ont été modifiées en distinguant 2 cas :

- L'utilisation de granulats recyclés "purs"
- L'utilisation de granulats de prémélange

3.1.1 Les granulats recyclés

Définition : La définition du granulat recyclé a été modifiée dans la norme NF P 18-545 pour distinguer le granulat recyclé pur et le granulat de prémélange réservé aux seuls usages béton.

Rappel : un granulat recyclé est un granulat résultant de la transformation de matériaux inorganiques antérieurement utilisés dans la construction. Tout mélange entre un granulat naturel et un granulat recyclé qui ne correspond pas à la définition du granulat de prémélange ci-dessous est un granulat recyclé.

► **NOTE : Les granulats recyclés peuvent également être obtenus à partir de résidus de production ou de produits non-conformes.**

Un béton incorporant moins de 1% de granulats recyclés est considéré comme un béton de granulats naturels

Le NA.5.1.3.2 traite des granulats recyclés et donne les caractéristiques à contrôler sur les sables et les gravillons recyclés ainsi que les fréquences d'essais associées et les niveaux des différentes caractéristiques qui permettent de classer les granulats recyclés en type 1, type 2 ou type 3 (ces types conditionnent ensuite leurs pourcentages d'incorporation dans les bétons en fonction des classes d'exposition, le type 3 n'étant pas utilisable pour les bétons de structure).

Rappel :

Il est défini 3 types de gravillons recyclés à partir de leurs classifications et de leurs fréquences d'essais associées :

- type 1 : toutes les caractéristiques définies pour les granulats recyclés sont CRB ;
- type 2 : toutes les caractéristiques définies pour les granulats recyclés sont CRB ou CRC ;
- type 3 : toutes les caractéristiques définies pour les granulats recyclés sont CRB ou CRC ou CRD.

Par rapport à la version précédente, les changements portent sur :

La valeur de sulfate soluble dans l'eau est portée de 0,2 à 0,3 pour les codes B et C

Caractéristique	Méthode d'essai	Code	Catégorie
Sulfate soluble dans l'eau	NF EN 1744-1, Article 10.2	CR _B , CR _C	Vss 0,3 (Selon § 10.5.2 de la NF P 18-545)
		CR _D	Vss 0,7

L'influence sur le temps de début de prise est portée de 10 à 20 pour le code B

Influence sur le temps de début de prise	NF EN 1744-6	CR _B	V _{ss20}
		CR _C , CR _D	A ₄₀

La masse volumique minimale du sable recyclé est portée de 1,7 t/m³ à 2 t/m³ à l'exception des sables provenant de concassage de retour béton ou de rebut de fabrication d'usine de préfabrication où cette limite peut être abaissée à 1,8 t/m³¹.

La nouveauté de cette partie sur les granulats recyclés est la possibilité d'utiliser des fréquences temporelles ou quantitatives pour la caractérisation des granulats. La fréquence donnant le plus grand nombre d'échantillons s'applique (NA.5.1.3.2.1) avec un minimum d'un essai pour chacune des caractéristiques. Le tableau ci-dessous reprend des informations des tableaux NA.3, NA.4 et NA.5 de la norme NF EN 206/CN.

Caractéristique	Norme	Sable	Gravillon	Fréquence temporelle	Fréquence quantitative (en tonnes)
Constituants des gravillons recyclés	NF EN 933-11		X	2/mois	1/2000
Sulfates solubles dans l'eau	NF EN 1744-1 (§10.2)	X	X	1/semaine	1/2000
Masse volumique	NF EN 1097-6	X	X	1/semaine	1/2000
Influence sur le temps de prise	NF EN 1744-6	X	X	2/mois	1/4000
Coefficient d'aplatissement	NF EN 933-3		X	1/mois	1/8000
Los Angeles	NF EN 1097-2		X	1/2mois	1/16000
Chlorures solubles dans l'eau ¹	NF EN 1744-1	X	X	2/mois	1/4000
Absorption d'eau	NF EN 10976 et FD P 18-663	X	X	1/semaine	1/2000
Alcalins libérables	XP P 18-544		X	2/mois	1/4000

¹Suite aux conclusions du PN RECYBETON la méthode pour la mesure des chlorures solubles est désormais celle de la norme NF EN 1744-1 (chlorures solubles dans l'eau) et plus les chlorures solubles dans l'acide (NF EN 1744-5)

3.1.2 Les granulats de prémélange

Dans la norme granulats NF P 18-545, la notion de granulats de prémélange ne concerne que les granulats pour béton. Un granulats de prémélange est un granulats obtenu par mélange de granulats recyclés et de granulats naturels selon des pourcentages définis des granulats (NA.3.1.2.19)

Un granulats de prémélange est obtenu uniquement entre :

- Gravillons naturel et recyclé ou
- Sables naturel et recyclé ou
- Graves naturelle et recyclée.

¹ Ce qui implique qu'un producteur de granulats recyclés qui fabrique du sable à partir de retours bétons devra le spécifier afin de justifier une valeur inférieure à 2,0 t/m³

Le granulat de prémélange est désigné par les lettres « Tx » suivi d'un nombre ; ce dernier étant la valeur de référence du pourcentage massique de granulat recyclé dans le granulat de prémélange. Par exemple : Tx10 signifie que la valeur de référence du taux de granulat recyclé dans le granulat de prémélange est de 10 %.

Les granulats recyclés de type 3 ne sont pas autorisés pour la recombinaison de granulats de prémélange.

Le NA.5.1.3.3 traite des granulats de prémélange et donne les caractéristiques à contrôler sur les sables et les gravillons recyclés entrant dans la composition du granulat de prémélange et sur les granulats de prémélange eux-mêmes ainsi que les fréquences d'essais associées.

Les caractéristiques des sables et gravillons recyclés entrant dans la constitution des granulats de prémélange doivent être communiquées au producteur de béton pour l'ensemble des caractéristiques mentionnées dans le tableau dans le tableau des fréquences de contrôle du granulat recyclé ci-dessus. Pour les gravillons, les alcalins libérables, chlorures solubles dans l'eau et coefficient d'aplatissement n'ayant pas d'influence sur le type de recyclé peuvent être mesurés uniquement sur le granulat de prémélange.

Il est important de noter que le producteur de granulats de prémélange doit communiquer spécifiquement au producteur de béton la teneur en constituant Rc (béton, produits en béton, mortier, éléments de maçonnerie en béton) du gravillon recyclé utilisé pour la fabrication du prémélange. De même la teneur en sulfates solubles dans l'eau du sable recyclé utilisé pour la fabrication du prémélange doit être communiqué au producteur de béton. Ces valeurs serviront au producteur de béton pour la vérification du pourcentage massique de recyclé dans le prémélange.

Les fréquences de contrôle suivantes doivent être respectées pour les sables et gravillons de prémélange :

Caractéristique	Norme	Sable	Gravillon	Fréquence temporelle	Fréquence quantitative (en tonnes)
Sulfates solubles dans l'eau	NF EN 1744-1 (§10.2)	X	X	1/semaine	1/2000
Masse volumique	NF EN 1097-6	X	X	1/semaine	1/2000
Influence sur le temps de prise	NF EN 1744-6	X	X	2/mois	1/4000
Influence sur le temps de prise	NF EN 1744-6	X	X	2/mois	1/4000
Coefficient d'aplatissement ²	NF EN 933-3		X	1/mois	1/8000
Los Angeles ²	NF EN 1097-2		X	½ mois	1/16000
Chlorures solubles dans l'eau ¹	NF EN 1744-1	X	X	2/mois	1/4000
Absorption d'eau ²	NF EN 1097-6 et FD P 18-663	X	X	1/semaine	1/2000
Alcalins libérables	XP P 18-544		X	2/mois	1/4000

¹Suite aux conclusions du PN RECYBETON la méthode pour la mesure des chlorures solubles est désormais celle de la norme NF EN 1744-1 (chlorure solubles dans l'eau) et plus les chlorures solubles dans l'acide (NF EN 1744-5)

²Ces caractéristiques du sable ou du gravillon de prémélange peuvent être déterminées par calcul à partir des caractéristiques des deux constituants du prémélange pondérées par leurs proportions massiques.

Le pourcentage massique de granulats recyclés dans le granulat de prémélange (Tx) est calculé selon la formule :

$$Tx = 100 \cdot \frac{M_r}{M_n + M_r}$$

où M_r et M_n sont les masses sèches respectivement de granulat recyclé et de granulat naturel incorporées dans la fabrication du granulat de prémélange au cours d'une période de production.

² Uniquement pour gravillons de prémélange

Le producteur de béton devra contrôler cette valeur déclarée par le producteur de granulats selon les modalités suivantes :

- Pour les gravillons : $T_{x,mesuré} = R_c \text{ prémélange} / R_c \text{ recyclé}$
Le R_c du prémélange sera déterminé par le producteur de béton selon la norme NF EN 933-11.
Note : Il s'agit bien du R_c seul et non du R_{cu} (R_u exclu)
- Pour les sables : $T_{x,mesuré} = SS \text{ prémélange} / SS \text{ recyclé}$
La teneur en sulfates solubles dans l'eau du prémélange ($SS \text{ prémélange}$) sera déterminé par le producteur de béton selon la norme NF EN 1744-1 § 8.2¹

Le critère d'acceptation est le suivant :

$$T_x - 10 \leq T_{x,mesuré} \leq T_x + 10$$

Où $T_{x,mesuré}$ est déterminé selon les modalités précédentes et T_x est la valeur de référence du pourcentage massique de granulat recyclé dans le granulat de prémélange déclarée par le producteur de granulat de prémélange.

▶ IMPORTANT : dans le cas où le granulat de prémélange est certifié NF ou équivalent les essais nécessaires à la détermination de T_x mesuré peuvent être remplacés par les autocontrôles du fournisseur.

3.1.3 Taux maximum d'incorporation des granulats recyclés ACG

Les travaux du PN Recybéton ont été intégrés dans cette nouvelle version de la NF EN 206/CN. La substitution des granulats naturels au profit des granulats recyclés a été revue.

Plusieurs principes font leur entrée :

- Des seuils de substitution augmentés pour certaines classes d'exposition
- La possibilité de substituer davantage en granulats recyclés si le E/C est réduit de 0.05
- La possibilité de substituer uniquement du sable recyclé (mais sans recours à l'abaissement du E/C, sauf si la fabrication de sable est issue d'une fabrication conjointe avec des granulats de type 1)

Le pourcentage massique maximum pour les gravillons recyclés et le sable recyclé est défini par les tableaux suivants :

Tableau NA.8a
Taux maximum (% massique) de substitution pour les gravillons recyclés de type 1 et le sable recyclé

	X0	XC1, XC2	XC3, XC4, XF1	XD1, XS1	XF2, XD2, XD3	XS2, XS3	XF3, XF4	XA							
Gravillon recyclé type 1	60	40	60	30	50	30	50	20	40	10	30	10 a	30 a	0b	
Sable recyclé	30	10	20	10	20	10	20	10	15	10	15	0b	15	0b	
Règles de formulation complémentaire		/	E_{eff}/L_{eq} max abaissé de 0,05 _c	/	E_{eff}/L_{eq} max abaissé de 0,05 _c	/	E_{eff}/L_{eq} max abaissé de 0,05 _c	/	E_{eff}/L_{eq} max abaissé de 0,05 _c	/	E_{eff}/L_{eq} max abaissé de 0,05 _c	/	E_{eff}/L_{eq} max abaissé de 0,05 _c	/	E_{eff}/L_{eq} max abaissé de 0,05 _c

a Gravillons résistants au gel au sens de la norme NF P18-545.

b A l'exception des granulats récupérés qui restent utilisables dans les conditions du 5.2.3.3 et NA.5.2.3.3.

c Par rapport aux préconisations des tableaux NA F

NOTE Ces taux sont vérifiés en arrondissant le taux de substitution au pourcentage le plus proche.

¹ Le R_c du gravillon recyclé et le SS du sable recyclé sont communiqués par le producteur de granulat

Tableau NA.8b
Taux maximum (% massique) de substitution pour les gravillons recyclés de type 2 et le sable recyclé

	X0	XC1, XC2	XC3, XC4, XF1	XD1, XS1	XF2, XD2, XD3	XS2, XS3	XF3, XF4	XA
Gravillon recyclé type 2	40	20 30	15 25	15 25	10 20	5 15	5 a 15 a	0 b
Sable recyclé	15	5 10	5 10	5 10	5 5	0b 5	0b 5	0b
Règles de formulation complémentaire		/	E _{eff} /Leq max abaissé de 0,05 c	/	E _{eff} /Leq max abaissé de 0,05 c	/	E _{eff} /Leq max abaissé de 0,05 c	E _{eff} /Leq max abaissé de 0,05 c

a Gravillons résistants au gel au sens de la norme NF P18-545.

b A l'exception des granulats récupérés qui restent utilisables dans les conditions du 5.2.3.3 et NA.5.2.3.3.

c Par rapport aux préconisations des tableaux NA F

NOTE Ces taux sont vérifiés en arrondissant le taux de substitution au pourcentage le plus proche.

3.1.4 Les classes de bétons de granulats recyclés ou de prémélange

Le béton contenant des granulats recyclés est classé en fonction de son taux massique* total de granulats recyclés, et du type de gravillons recyclés. La classe de taux de substitution en granulats recyclés qui en résulte est prise en compte par les normes Eurocode EC2 pour les calculs de dimensionnement

► **Note : Ceci ne s'applique qu'aux bétons contenant plus de 1 % de granulats recyclés, les bétons contenant moins de 1 % de recyclés étant considérés comme des bétons de granulats naturels.**

* *taux massique total de granulats recyclés = masse de granulats recyclés (sables + gravillons) / masse totale de granulats (sables + gravillons) (arrondi à 0.01 près)*

Classes de taux de substitution de granulats recyclés dans le béton

Classe de taux de substitution en granulats recyclés	R0	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7
Plage de taux massique total de granulats recyclés (sable recyclé + gravillon Type 1)	0,01-0,05	0,06 - 0,15	0,16-0,25	0,26-0,40	0,41-0,55	0,56-0,70	0,71-0,85	0,86-1,00
Plage de taux massique total de granulats recyclés (Sable recyclé + gravillons de type 2)	0,01-0,02	0,03 - 0,07	0,08-0,12	0,13-0,20	0,21-0,27	0,28-0,35	0,36-0,42	0,43-0,50

Dans le cas d'utilisation de granulats de prémélange, la masse de granulat recyclé à prendre en compte pour le calcul du taux massique total de granulats recyclés dans le béton est égal à $T_x * (\text{Masse de granulats de prémélange})/100$

Dans le cas où le sable recyclé est utilisé sans gravillons recyclés, la ligne concernant les gravillons de type 1 s'applique (voir également le § 3.1.3 de ce document)

► **Note :** L'utilisation d'un béton de classe R2 et au-delà dans le cas de béton armé (R1 et au-delà pour le béton précontraint) entraîne une prise en compte particulière au niveau des règles de dimensionnement (cf. NF EN 1992-1-1/CN et NF EN 1992-1-2/CN), il est important d'attirer l'attention du prescripteur sur ce fait.

Afin d'illustrer les mécanismes de formulation des bétons contenant des granulats recyclés, des exemples sont donnés ci-dessous (Les taux sont en % pour faciliter la lecture):

Les tableaux suivants illustrent le lien entre la classe de béton de granulats recyclé, les types de granulats et les % maximum de substitution

Classe de béton en granulats recyclés pour des bétons XF1

	Approche performantielle				
	Matériaux naturels	Classe R2 Type 1	Classe R2 Type 2	Classe R5 Type 1	Classe R5 Type 2
0/4 Naturel	870	800	870	430	870
0/4 Recyclé		70		440	
4/11 Naturel	325	325	155		
4/11 Recyclé Type 1			170	325	
4/11 Recyclé Type 2					325
11/22 Naturel	645	370	645	300	400
11/22 Recyclé Type 1		275		345	
11/22 Recyclé Type 2					245
Ciment	280	280	280	280	280
Eau	165	165	165	165	165
PRE	0.35%	0.35 %	0.35 %	0.35%	0.35%
Total Granulat	1840 Kg	1840 Kg	1840 Kg	1840 Kg	1840 kg
Total Recyclé		345 Kg	170 Kg	1110 Kg	570 Kg
Taux de Substitution sur tous les granulats		19%	9%	60%	31%

Taux maximum de substitution des gravillons

	XD2 Type 1	XD2 Max Type 1	XF1 Type 2	XF1 Max type 2
0/4 Naturel	820	765	910	850
0/4 Recyclé		75		80
4/11 Naturel	130	330	290	290
4/11 Recyclé Type 1	200			
4/11 Recyclé Type 2				
11/22 Naturel	680	280	560	460
11/22 Recyclé Type 1		200		
11/22 Recyclé Type 2			150	250
Ciment	330	330	280	280
Eau	175	162	165	150
PRE	0.35 %	0.6 %	0.35%	
Total Gravillon	1010 Kg	1010 Kg	1000 Kg	1000 kg
Total Recyclé	200 Kg	275 Kg	150 Kg	330 Kg
Total Granulats	1830 kg	1850 kg	1910 kg	1930 kg
E/Leq Max. Normatif	0.55	0.55	0.60	0.60
E/Leq Réel	0.53	0.49	0.59	0.54
Taux de substitution gravillons	20%	20%	15%	25%
Taux de substitution sable		10%		10%
Taux de substitution total	11%	15%	8%	17%
Classe RO à R7	R1 Type1	R1 Type 1	R2 Type2	R3 Type2

3.1.5 Les granulats d'excavation à teneur en sulfate élevée et le FD P 18-473

Le complément national NF EN 206/CN:2022 introduit la possibilité, d'utiliser pour le béton des granulats naturels élaborés avec des matériaux d'excavation et dérogeant aux exigences des codes A, B ou C pour les sulfates solubles dans l'acide de l'article 10 de la norme Granulats NF P18-545. Ceci uniquement possible dans le cas de projet d'infrastructure de génie civil ou de travaux publics (donc non autorisé en bâtiment)

Ces granulats doivent présenter au plus une seule autre caractéristique indiquée D en cas d'utilisation dans des bétons de classe de résistance supérieure à C16/20.

Lorsque les matériaux d'excavation sont issus d'opérations du même projet que celui pour lequel le béton est envisagé, les conditions de recours à cette dérogation sont les suivantes (section NA.E.1 de l'annexe nationale NA.E)

- Mention de cette possibilité dans les documents contractuels du marché avec le consentement éclairé du Maître d'Ouvrage,
- Contrôle par une tierce partie indépendante,
- Conformité des granulats aux autres exigences de la norme NF P18-545, Art 10,
- Limitation de la teneur en sulfates solubles dans l'acide à 2,0%.

L'ensemble des autres règles de la norme NF EN 206+A2/CN s'appliquent ainsi que des dispositions préventives complémentaires données dans la section NA.E.1 de l'Annexe NA.E et le fascicule de documentation FD P18-473. Ces dispositions complémentaires portent sur :

- Les critères d'acceptation du béton prévu sur la base d'une étude préliminaire (qualification du gisement, formulation du béton, satisfaction à l'essai de performance XP P 18-472 pour la formule nominale élaborée avec un échantillon représentatif de la teneur maximale en sulfates du gisement et de sa formule dérivée avec une teneur en sulfates augmentée).
- Les précautions à prendre au sein de l'installation de production des bétons (gestion des matières et de la fabrication pour éviter les pollutions notamment),
- Le contrôle des matériaux d'excavation et des granulats élaborés avec ces derniers.

Si le Maître d'Ouvrage souhaite utiliser des granulats issus de matériaux d'excavation dont la teneur en sulfates est comprise entre 2,0% et 3,5%, en plus de ces règles il est nécessaire de réaliser un complément de l'étude préliminaire par une évaluation technique ou un dossier technique accepté par les assureurs, sur la base du fascicule FD P18-473.

Dans le cas où les granulats sont élaborés avec des matériaux d'excavation issus d'opérations d'un autre projet que celui pour lequel le béton est envisagé, c'est la section NA.E.2 de l'annexe NA. E qui s'applique. Le recours à la dérogation sur la teneur en sulfates solubles dans l'acide des granulats n'est envisageable que si cette teneur maximale est inférieure à 2,0% et se limite à un marché d'ouvrages d'infrastructure de génie civil ou d'un marché de travaux publics (à l'exclusion d'ouvrages de bâtiment) de « Catégorie I » au sens du fascicule de documentation FD P18-473 (ouvrages pour lesquels les conséquences sont faibles ou acceptables comme les ouvrages de classe mécanique inférieure à C16/20, les ouvrages provisoires...).

3.2 L'utilisation des ciments

3.2.1 Les ciments de la Norme NF EN 197-5

Le complément national NF EN 206/CN :2022 introduit la possibilité d'utilisation des ciments couverts par la norme NF EN 197-5 « Ciment - Partie 5 : ciment Portland composé CEM II/C-M et Ciment composé CEM VI »

- Le ciment Portland composé CEM II/C-M dont les constituants principaux sont :
 - ↳ Clinker : 50 à 64 %
 - ↳ Toute combinaison de deux constituants autres que le clinker : Laitier de Haut Fourneau, Fumée de silice, Pouzzolane (naturelle ou naturelle calcinée), Cendre volante (siliceuse ou calcique), Schiste calciné, Calcaire (Lou LL) : 36 à 50 %
 - ↳ Constituants secondaires : 0 à 5 %

Le nombre de constituants principaux autre que le clinker est limité à 2.

- Le ciment composé CEM VI constitué en constituants principaux de 25 à 49 % de Clinker et de 31 à 59 % de laitiers de Haut Fourneau, ainsi que :
 - ↳ CEM VI (S-P) : Pouzzolane naturelle : 6 à 20 %
 - ↳ CEM VI (S-V) : Cendre volante Siliceuse : 6 à 20 %
 - ↳ CEM VI (S-L) : Calcaire L : 6 à 20 %
 - ↳ CEM VI (S-LL) : Calcaire LL : 6 à 20 %
 - ↳ Constituants secondaires : 0 à 5 %

L'aptitude à l'emploi de ces ciments conformes à la norme NF EN 197-5 implique le respect des règles suivantes :

- Les CEM II/C-M ne contenant que des constituants pouzzolaniques (pouzzolanes, cendres volantes et fumée de silice) doivent notamment satisfaire à l'essai de pouzzolanité selon la norme NF EN 196-5.

- Si le calcaire utilisé comme constituant principal d'un CEM II/C-M ou d'un CEM VI (S-L) ou (S-LL) présente une teneur en carbonate de calcium (CaCO₃) calculée à partir de la teneur en oxyde de calcium inférieure à 65 % en masse, alors il devra avoir un résidu insoluble inférieur à 4 % pour limiter les risques de réaction alcali-silice.
- Les bétons formulés exclusivement avec des ciments de type CEM VI contenant plus de 35% de laitier et contenant des armatures en acier ou des pièces métalliques noyées sont de classe de teneur en chlorure Cl 0,65. [NA.5.2.8]

Rappel : Les ciments couverts par la norme NF EN 197-5 ne peuvent pas bénéficier du marquage CE car celle-ci n'est pas harmonisée ; en revanche, ils doivent respecter les critères de la certification NF Liants Hydrauliques ou équivalent. [NA.5.1.2 Ciments]

3.2.2 Les modifications des règles d'emploi des ciments de la norme NF EN 197-1 et autres ciments du tableau NA 10

Une évolution importante est à signaler sur les limites de composition applicables en fonction du type de ciment utilisé (limites résumées dans les tableaux NA.F.1 et NA.F.3 pour les bétons prêts à l'emploi). Cette évolution **concerne aussi les ciments de la NF EN 197-1**, déjà existants sur le marché français. En particulier, les règles deviennent plus restrictives pour les **CEM III/A avec une teneur en laitier supérieure à 50%**, les CEM III/B et CEM III/C, ainsi que les CEM IV/B et CEM V/B.

Les limitations de composition sont résumées dans les tableaux suivant pour l'ensemble des cas possibles :

Cas des ciments de la NF EN 197-1

	Tableau NA.F.1 et NA.F.2 (pas de changement par rapport à la version précédente de la norme)	Tableau NA.F.3 et NA.F.4 (limites plus restrictives par rapport à la version précédente de la norme)
Béton formulé à base de ciment NF EN 197-1	-CEM I -CEM II/A -CEM II/B -CEM III/A (teneur en laitier ≤ 50%) -CEM IV/A -CEM V/A	CEM III/A (teneur en laitier supérieure à 50%) CEM III/B CEM III/C CEM IV/B CEM V/B

Répartition des ciments couverts par la norme NF EN 197-1 pour l'application des tableaux NA.F

Cas des ciments de la NF EN 197-5 et des autres ciments (CNP, CSS, Ciments UT)

	Tableau NA.F.1 et NA.F.2	Tableau NA.F.3 et NA.F.4
Béton formulé à base de ciment NF EN 197-5 et autres ciments	-CEM II / C – M (à l'exclusion de ceux uniquement composés de constituants pouzzolaniques D, P, Q, V et W) Ciment prompt Ciment à usage tropical (à l'exclusion des CEM IV/B)	- CEM II / C – M (ciments ternaires uniquement composés de constituants pouzzolaniques D, P, Q, V et W) - CEM VI SSC (Ciments Sur-Sulfatés) Ciments à usage tropical CEM IV/B

Répartition des ciments couverts par la norme NF EN 197-5 et des autres ciments pour l'application des tableaux NA.F

Cas des bétons d'ingénierie

	Tableau NA.F.1 et NA.F.2	Tableau NA.F.3 et NA.F.4
Bétons d'ingénierie dont la composition comprend deux ciments (l'un d'entre eux étant obligatoirement du CEM I)	Toutes les combinaisons sauf celles de la cellule à droite	CEM I + CEM III pour lesquels la teneur en clinker rapportée à la masse totale de liant est inférieure à 50 % CEM I + CEM IV/B pour lesquels la teneur en clinker rapportée à la masse totale de liant est inférieure à 65 % CEM I + CEM V/B pour lesquels la teneur en clinker rapportée à la masse totale de liant est inférieure à 40 % CEM I + CEM II/C-M (uniquement constitués de constituants pouzzolaniques D, P, Q, V et W) pour lesquels la teneur en clinker rapportée à la masse totale de liant est inférieure à 65 % CEM I + CEM VI (S-P) ou (S-V) pour lesquels la teneur en clinker rapportée à la masse totale de liant est inférieure à 40 % CEM I + CEM VI (S-L) ou (S-LL) pour lesquels la teneur en clinker rapportée à la masse totale de liant est inférieure à 50 %
bétons d'ingénierie (NA.3.1.1.21) contenant du laitier vitrifié moulu de haut fourneau de classe A en substitution du ciment à des taux supérieurs aux taux autorisés par le tableau NA. F.1		Les limitations du tableau NA.F.3. s'appliquent dans tous les cas.

3.3 Les classes d'exposition

3.3.1 La classe XC1

Il est rappelé qu'en France, la classe XC1 ne concerne que les bétons « secs en permanence », les bétons au contact de l'eau en permanence étant classés en XC2

3.3.2 Les classes XD3 et XS3

Il convient de distinguer, dans le cadre d'une formulation de béton établie par approche performantielle (voir 3.4 du présent document et le § NA 5.3.3 de la norme), suivant la fréquence de salage, une classe XD3f (salage fréquent) ou XD3tf (salage très fréquent) peut être retenue.

↳ NOTE : Par défaut le béton sera classé XD3tf

De la même manière, pour la classe XS3, Il est possible de distinguer deux classes dans le cas d'une approche performantielle :

- XS3m : zone de marnage ou de projections (parties immergées proches de zones aérées généralement jusqu'à 5m au-dessous des plus basses eaux);
- XS3e : zone exposée aux embruns (zones de projections généralement jusqu'à 10 m au-dessus des plus hautes eaux).
- ↳ NOTE : Par défaut le béton sera classé XS3m
- Les valeurs limites données dans les tableaux NA.F couvrent par la notation unique XD3 les classes XD3f et XD3tf, et par la notation unique XS3 les classes XS3e et XS3m.

3.3.3 Les classes XA

Il est rappelé que, en complément du tableau 2 de la partie européenne de la NF EN 206, il convient de se référer au FD P 18-011

3.4 L'introduction de l'approche performantielle

La nouvelle version de la norme NF EN 206+A2/CN introduit la possibilité de déroger à certaines exigences relatives à la composition des bétons, à condition de justifier de la durabilité du béton envisagé par approche performantielle.

Conditions pratiques de l'application de l'approche :

Le choix de cette approche doit être validé par toutes les parties, et intégré dans les spécifications d'exécution. Les conditions d'application et les dispositions complémentaires sont données dans le fascicule de document FD P18-480.

Le béton est désigné de façon spécifique : la mention BPPS (pour béton performantiel à propriétés spécifiées) ou BPCP (pour béton performantiel à composition prescrite), selon le cas, doit figurer explicitement sur le bon de livraison, et la ou les classes d'exposition dont la conformité est justifiée par l'approche performantielle doivent être identifiées par ajout du suffixe « p ».

Exemple : BPPS C35/45 XC4 XD3p, béton performantielle à propriétés spécifiées de classe mécanique C35/45 répondant aux exigences de composition pour la classe d'exposition XC4 et de performance pour la classe d'exposition XD3.

Les exigences pour lesquelles une dérogation est envisageable sous réserve de justifier de la durabilité par approche performantielle sont les suivantes :

- Le rapport Eau efficace / Liant équivalent maximal et/ou dosage minimal en liant équivalent de la classe d'exposition visée,
- La nature du liant pouvant être imposée pour certaines classes d'exposition,
- La qualité des granulats.

Pour en savoir plus :

Concernant l'ouvrage ou partie d'ouvrage, les règles d'exécution et de mise en œuvre du béton sont inchangées. Les classes de résistance à la compression telles que définies pour le projet par le Bureau d'Études Structures en conformité avec les normes Eurocodes EC2 doivent être respectées à minima. Notamment, il n'est pas possible de déroger à la classe minimale de résistance associée à la classe d'exposition visée (l'application de cette classe minimale de résistance est normative, comme précisé dans la NF EN 1992-1-1/NA, section NA 6). Les valeurs d'enrobages liées à la durabilité du béton ($C_{min,dur}$) sont celles établies pour la classe structurale S4 lorsque la durabilité est évaluée à 50 ans, ou celles établies pour la classe structurale S6 si la durabilité est évaluée à 100 ans. Les règles de modulations d'enrobage liées à des critères de résistance du béton et/ou de nature du liant données dans le Tableau 4.3NF (clause 4.4.1.2(5) de l'annexe nationale à la norme NF EN 1992-1-1 (NF P 18-711-1/NA)), ne sont pas applicables. Les possibilités de modulation d'enrobage autorisées, en complément de celle liée à l'enrobage compact, sont associées au respect de seuils plus sévères de performance, donnés en Annexe A du fascicule FD P18-480.

Par ailleurs, voir également l'annexe 2 du présent guide qui précise les conditions d'application de cette approche

3.5 Le bon de livraison

Quelques nouveautés concernent le BL :

- Il est désormais précisé que le terme « imprimé » couvre le cas des BL dématérialisés
- Dans le cas d'utilisation de granulats recyclés, le BL doit préciser la classe de taux de substitution en granulats recyclés (ex. R1) et le type des gravillons (ex. Type 1) ; ceci peut par exemple être groupé sous la forme « R1 Type1 »
- Pour les bétons par approche performantielle, la mention BPPS ou BPCP doit remplacer BPS ou BCP sur le BL, et les classes d'expositions doivent y figurer en ajoutant la lettre « p » ou « P » (ex. XC3p ou XD2P ou XS3EP)

Note : La norme mentionne un p (ou un e) minuscule, toutefois, si le système ne le permet pas, un P ou un E est acceptable

3.6 Le gel

Les dispositions préventives pour la formulation des bétons exposés au gel avec ou sans sels de déverglaçage restent similaires à celles de la version précédente de la norme Béton. Elles reposent sur le respect des critères mentionnés dans les tableaux de l'annexe NA.F comme la non-gélimité des granulats selon la norme NF P18-545 (pour XF3 et XF4), et d'autres critères ayant trait à la classe mécanique, la teneur minimale en liant équivalent, la nature du ciment pour XF4, la nature et la quantité maximale d'addition dans le liant équivalent, le rapport maximale Eau / Liant équivalent, et la teneur minimale en air occlus.

Pour les bétons hautes performances, il est possible de déroger à la teneur minimale en air occlus à conditions de satisfaire aux critères mentionnés dans la nouvelle version des Recommandations pour la durabilité des bétons durcis soumis au gel (guide Université Gustave Eiffel 2021).

La dérogation éventuelle aux prescriptions de composition des bétons doit être justifiée par la satisfaction aux essais de tenue au gel des bétons selon la norme NF P18-425 (ou NF P18-424 selon l'exposition du béton et le

degré de saturation en eau du béton qui en découle) et selon la norme XP P18-420 en cas d'exposition aux sels de déverglaçage. Les critères à satisfaire sont mentionnés dans les recommandations pour la durabilité des bétons durcis soumis au gel (guide IFSTTAR 2021). Il est à noter que la norme d'essai XP P18-420 a été mise à jour (voir plus loin).

3.7 Annexe D Bétons pour travaux géotechniques spéciaux

Les références des normes d'essais pour vérifier la rhéologie et la stabilité du béton ont été mises à jour, en particulier pour tenir compte de la parution de nouvelles normes françaises dans l'intervalle (voir paragraphe 4.4) :

- NF EN 12350-1:2019 pour le suivi du maintien de la consistance
- XP P 18-469 pour la viscosité à l'essai d'écoulement
- XP P 18-468 et XP P 18-475 pour le contrôle de la stabilité

04 Les autres évolutions normatives ou techniques

4.1 Alkali réaction

Le fascicule de documentation FD P 18-464 – « Béton — Dispositions pour prévenir les phénomènes d'alcali-réaction » a été mis à jour en juin 2021.

Par rapport à la version de 2014, la principale modification porte sur le niveau de prévention C lorsque l'utilisation de granulats PR est envisagée du fait de la difficulté d'approvisionnement en granulats NR ou PRP. Dans ce cas-là, la prévention des désordres repose sur la satisfaction d'un des deux critères suivants :

- Le niveau d'alcalins moyens de la formule de béton, T_{moy} , est inférieur ou égal à $1,4 \text{ kg/m}^3$,
- Le test de performance est effectué selon la norme NF P18-454 et vérifie les critères du fascicule FD P18-456.

La réalisation d'une étude approfondie de la formule de béton envisagée, qui consiste à déterminer le seuil en alcalins déclenchant le gonflement du béton, devient une alternative mais n'est plus le seul moyen de prévention pour le niveau C comme dans la version de 2014. Les autres modifications apportées au fascicule FD P18-464 ont consisté à intégrer les nouvelles versions en vigueur de documents cités qui étaient à l'état de projet dans la version de 2014. C'est le cas avec le fascicule de documentation FD P18-541-Granulats — Guide pour l'élaboration du dossier, et la norme d'essai XP P18-544-Granulats — Essai pour déterminer les alcalins solubles dans l'eau de chaux. Il faut noter que la norme mentionnée pour les granulats légers est la version 2002 de la norme NF EN 13055-1 qui est annulée, mais toujours disponible.

La norme NF 18-454- Béton - Réactivité d'une formule de béton vis-à-vis de l'alcali-réaction - Essai de performance a également été mise à jour en 2021, pour que les calculs des ajouts d'alcalins soient en cohérence avec la nouvelle version du fascicule FD P 18-464. La norme traite directement d'exemples concernant les ajouts d'alcalins à effectuer dans une annexe créée à cet effet.

4.2 Les recommandations pour les bétons soumis au gel

La démarche de prévention est définie par les **Recommandations pour la durabilité des bétons durcis soumis au gel (UGE-2021)**.

Ce guide remplace les Recommandations LCPC de 2003. Par rapport à la version de 2003, les principales évolutions ont porté sur les points suivants :

- Le nouveau document est structuré par thématique (constituants, essais, épreuves...) plutôt que par type de béton ;
- mise à jour normative ;
- prise en compte des derniers développements issus de la recherche ;
- clarification des modalités de prescription des niveaux de prévention G et G+S ;
- prise en compte de l'évolution des constituants et des règles de formulation ;
- ouverture vers une démarche plus axée sur des validations performantielles ;
- clarification du contenu des épreuves (études, convenances et contrôles).

Voir également en annexe pour plus de détails

4.3 Le FD P 18-011

La révision du FD P 18-011 porte essentiellement sur les points suivants :

- Prise en compte des additions et des mélanges de ciments dans la résistance d'un béton aux agressions chimiques
- Prise en compte des ciments NF EN 197-5
- Application du fascicule pour les BFUP couverts par la norme NF P 18-470

Avec également des modifications mineures portant sur :

- Précision sur le principe de fonctionnement des attaques acides
- Précisions sur les attaques par H₂S
- Ajout d'un paragraphe sur les biodétériorations
- Ajout d'une annexe sur l'agressivité de diverses substances

Pour le premier point, l'ancien tableau « Choix du ciment en fonction du milieu » a été découpé en trois tableaux. Le choix du tableau à prendre en compte est amené par le questionnement suivant :

- Si le ciment est utilisé seul ou en mélange avec un autre ciment : Tableau 2A
- Si le ciment est utilisé en combinaison avec une ou plusieurs additions :
- Si le ciment dispose des caractéristiques complémentaires PM, SR ou ES : Tableau 2B
- S'il ne dispose pas de ces caractéristiques : Tableau 2C et exigences complémentaires sur ciments et additions.

Un guide d'utilisation de ces tableaux est en cours de réalisation

4.4 Les normes d'essais de durabilité (sur béton durci)

4.4.1 XP P18-420 - « Béton - Essai d'écaillage des surfaces de béton durci exposées au gel en présence d'une solution saline »

La nouvelle version 2022 de la norme d'essai expérimentale XP P 18-420 apporte des précisions sur l'étape délicate de confection des échantillons avant essai, sur la façon de mesurer la surface effective du béton en contact avec la saumure. Pour la pesée des quantités des particules d'écaillage, le séchage préliminaire des particules en étuve peut s'effectuer selon une durée prédéfinie pour laquelle le laboratoire a pu démontrer qu'elle permettait d'obtenir une masse constante. La révision de la norme concerne également la précision des balances.

Cette norme d'essai permet de justifier de la performance d'un béton pour les classes XF2 et XF4 s'il déroge aux exigences de l'annexe NA.F de la norme Béton, ou bien pour s'assurer de la performance du béton pour ce type d'exposition.

4.4.2 XP P18-458 « Essai sur béton durci - Essai de carbonatation accélérée »

La norme d'essai de carbonatation accélérée des bétons qui consistait, dans sa version précédente, à exposer pendant 28 jours des prismes de bétons à une atmosphère enrichie à 50% de CO₂, a été significativement modifiée. Dans la nouvelle version, ce sont les faces latérales de tranches de béton découpées dans des cylindres de béton 11x22cm qui sont exposées à 3% de CO₂ pendant 70 jours.

Au préalable, les corps d'épreuve subissent un préconditionnement particulier mentionné dans la norme. La vitesse de carbonatation est déterminée avec les mesures de profondeurs de carbonatation après 0, 28, 42 et 70 jours.

Cette norme d'essai est appelée dans le fascicule de documentation FD P18-480 pour justifier de la performance d'un béton en classe d'exposition de type XC.

4.4.3 NF P18-459 - « Béton – Essai sur béton durci – Essai de porosité et de masse volumique »

Par rapport à la version précédente, la version 2022 de la norme d'essai NF P18-459 ne comporte pas de modification significative. Elle apporte des précisions sur la conservation des éprouvettes et corps d'épreuve dans le cas de béton

moulé, sur le prélèvement des corps d'épreuve dans les éprouvettes, ainsi que sur la dimension minimale des corps d'épreuves. Des précisions sont également apportées pour le séchage à 105 °C, afin d'éviter un séchage excessif. Les critères de fiabilité de résultats ont été mis à jour avec les apports du projet national PerfDuB. Il est également précisé un critère d'étendue maximale des valeurs individuelles à respecter pour les bétons de masse volumique normale pour la validité des résultats.

Cette norme d'essai est appelée dans le fascicule FD P18-480.

La porosité accessible à l'eau sert d'indicateur général de durabilité. Pour les classes d'exposition de type XC, la porosité accessible à l'eau peut également servir de grandeur de durabilité en alternative à la carbonatation accélérée, sous réserve de justification sur la base d'un essai de carbonatation, comme stipulé dans le fascicule FD P18-480.

4.4.4 XP P18-462 « Essai sur béton durci - Essai accéléré de migration des ions chlorure en régime non-stationnaire - Détermination du coefficient de diffusion apparent des ions chlorures »

Par rapport à la version précédente, la version 2022 de la norme d'essai XP P18-462 n'a pas été significativement modifiée. Le domaine d'application est limité aux échantillons non pollués par des chlorures, et dépourvus d'éléments métalliques (sauf dans le cas particulier des BFUP).

Des indications sont données pour le prélèvement des corps d'épreuve dans les éprouvettes, leur préparation et pour la mesure du front de pénétration des chlorures en fin d'essai. Concernant la mise en place de l'essai, la concentration en NaCl de la solution du compartiment "amont" est fixée à 0.5 mol/l (l'alternative à 1 mol/l a été retirée). La notation du coefficient de diffusion apparent a été modifiée ("DRCM" au lieu de "Dapp").

Un critère permettant de vérifier la validité des résultats est introduit et porte sur l'étendue maximale des valeurs individuelles à respecter pour les bétons de masse volumique normale. Les données de fidélité ont été mises à jour avec les apports du projet national PerfDuB.

Cette norme d'essai est appelée dans le fascicule de documentation FD P18-480 pour justifier de la performance d'un béton en classe d'exposition de type XS, XD et XA dans certains cas particuliers.

4.4.5 XP P18-481 « Essai sur béton durci – Mesure de la résistivité électrique »

Il s'agit d'une nouvelle norme d'essai, introduite à l'issue du projet national PerfDuB. Le principe est de mesurer la résistivité électrique d'un échantillon de béton. L'essai est pratiqué sur des tranches découpées dans des cylindres de béton 11x22cm, préalablement saturées sous vide d'une solution diluée de soude caustique (NaOH). Les valeurs de fidélité mentionnées sont issues du projet national PerfDuB.

Cette norme d'essai est appelée dans le fascicule FD P18-480. La résistivité sert d'indicateur général de durabilité. Pour les classes d'exposition de type XC, la résistivité permet également de déterminer à quelles valeurs limites il faut se référer pour l'essai de carbonatation en conditions accélérées XP P18-458.

4.4.6 XP P18-482 « Béton - Essai sur béton durci - Essai de lixiviation à l'acide nitrique à pH constant »

Il s'agit d'une nouvelle norme d'essai, introduite à l'issue de projet national PerfDuB. Le principe est d'évaluer le degré de dégradation d'échantillons immergés dans une solution de pH acide. La norme propose deux protocoles différents. Les valeurs de fidélité mentionnées sont issues du projet national PerfDuB.

Cette norme d'essai est appelée dans le fascicule FD P18-480 pour justifier de la durabilité pour les classes XA / milieux acides et eaux pures.

4.5 Les normes d'essais sur les bétons frais

4.5.1 XP P18-468 « Béton - Essai pour béton frais - Ressuage »

Publiée en octobre 2016, elle décrit une méthode de détermination de la quantité d'eau de gâchage susceptible de ressuer à la surface d'un échantillon de béton frais. Cette méthode est applicable aux bétons contenant des granulats dont la taille maximale ne dépasse pas 50 mm. Elle peut être réalisée en laboratoire et sur chantier. Cette norme est désormais citée en annexe D de la norme béton (voir ci-dessus § 3.6.3).

4.5.2 XP P18-475 « Béton - Essai pour béton frais - Ressuage forcé »

Publiée en juillet 2022, elle décrit une méthode de détermination de la quantité d'eau susceptible d'être essorée pour un échantillon de béton frais soumis à une pression de 1 bar pendant une durée de 3 minutes 30 secondes. Cette grandeur est corrélée à la proportion d'eau maximale pouvant être extraite d'un béton si on réalisait l'essai de ressuage statique jusqu'à la prise (XP P 18-468).

Cette norme est désormais citée en annexe D de la norme béton (voir ci-dessus § 3.6.3).

ANNEXE 1

Règles d'utilisation de l'approche performantielle

FD P18-480.

Les alternatives de formulation des bétons sont envisageables à condition de répondre à certaines exigences concernant :

- La formule de béton envisagée :
 - ↳ Constituants aptes à l'emploi selon NF EN 206/CN, hors aptitude établie par agrément technique européen,
 - ↳ Seuls ajouts autorisés : fibres et agents de viscosité,
 - ↳ Teneur en liant total supérieure ou égale à 260 kg/m³ pour les classes d'exposition XC et XF1, et supérieure ou égale à 300 kg/m³ pour les autres classes d'exposition,
 - ↳ Teneur en clinker du liant total supérieure ou égale à 15% du liant total,
- La performance du béton envisagée, via la satisfaction aux critères de performance du fascicule FD P18-480 (références probantes ou bien performance évaluée en laboratoire, en convenance, en contrôle de production selon le niveau de prévention).
- Le système Qualité du producteur de béton ou du fabricant de produit en béton (moyens de maîtrise du dosage des constituants par exemple), de l'entreprise de construction et du laboratoire en charge des essais de qualification. Le laboratoire doit également justifier d'un certain niveau d'expérience dans les essais de durabilité (Par exemple via la participation aux essais interlaboratoires du CEBTP).

Les dispositions à prendre dépendent du niveau de prévention, qui est évalué en fonction de la catégorie de l'ouvrage ou de la partie d'ouvrage et de la classe d'exposition. Le Tableau ci-dessous indique comment ce niveau est déterminé.

Détermination des niveaux de prévention de l'application de l'approche performantielle

		Classe d'exposition		
		XC1	XA	Autres
Catégorie ouvrage ou partie d'ouvrage	1 Eléments à l'intérieur des bâtiments, non structurels ou ne contribuant pas à la stabilité structurelle des ouvrages, les éléments et ouvrages provisoires ou facilement remplaçables.	N1	N2	N1
	2 Bâtiments et certains ouvrages courants de génie civil (durée de vie de 50 ans)	N1	N2	N2
	3 Ouvrages conçus pour une durée de vie 100 ans et les ouvrages exceptionnels (centrales nucléaires, barrages, tunnels, bâtiments de prestige, ...)	N2	N3	N3

Pour le niveau N1, la performance du béton est démontrée en étude et épreuve de convenance avec la formule nominale. Pour les niveaux N2 et N3, la justification porte sur la formule nominale et sur des dérivées en étude et convenance, et des essais de durabilité sont à réaliser en contrôle de production. Un contrôle externe des bétons est nécessaire pour l'entreprise. Une fiche de synthèse résumant les dispositions prises et les éléments justificatifs du béton est à fournir au MOA/MOE (format donné dans le fascicule FD P18-480).

Essais à réaliser et critères d'acceptation

La performance de la formule de béton envisagée doit être démontrée par des essais. Les exigences en termes de justification de la durabilité sont fonction de la ou les classe(s) d'exposition pour laquelle (ou lesquelles) la composition du béton déroge. Les autres caractéristiques essentielles du béton doivent également être justifiées (consistance du béton frais pendant la durée d'utilisation prévue, résistance en compression).

Les essais relatifs à la justification de la durabilité à réaliser et les critères d'acceptation sont donnés dans le tableau ci-après

**Grandeurs associées à la durabilité pour les différentes classes d'exposition
(FD P18-480, section 6 et Tableau B.1)**

Classes d'exposition	Méthode de base	Méthode alternative	Critères d'acceptation
XC1 / XC2	Carbonatation accélérée selon XP P18-458	Porosité à l'eau selon NF P 18-459	Respect de valeurs limites (*) selon la classe d'exposition et la résistivité du béton.
XC3 / XC4	Carbonatation accélérée selon XP P18-458	Porosité à l'eau selon NF P 18-459 avec réalisation d'essai de carbonatation accélérée lors des essais de qualification.	
XS / XD	Migration des ions chlorures selon XP P18-462	X	Respect de valeurs limites (*) selon la classe d'exposition et le facteur de vieillissement du béton.
XA sulfates	Protocole RSE par saturation ou par immersion/séchage (modes opératoires PerfDuB)	Migration des ions chlorures selon XP P18-462 si recours à un liant conforme au fascicule FD P18-011 de la classe visée.	Comparaison avec béton de référence (**)
XA acides / eaux pures	Essai de lixiviation à pH constant selon XP P18-482	Migration des ions chlorures selon XP P18-462 si recours à un liant conforme au fascicule FD P18-011 de la classe visée.	
XA biodégradation	Essais de biodétérioration (modes opératoires PerfDuB)	x	

(*) Un coefficient de sécurité est appliqué en étude : Valeur moyenne < ou = Valeur limite - 3 x écart-type prévisionnel (NB : critère donné pour l'écart-type prévisionnel via un coefficient de variation minimum à respecter par type d'essai)

(**) Critères à respecter pour la formule du béton d'étude.

Les grandeurs associées à la durabilité sont à mesurer sur béton après 90 jours de cure humide ou sous eau à 20°C, pour la formule nominale et des dérivées selon le niveau de prévention.

- Pour les classes d'exposition de type XC, XS, XD, les valeurs limites spécifiées sont exprimées sous forme de grandeurs caractéristiques pour un fractile visé de 90%. Les valeurs limites sont fonction du niveau de la classe d'exposition et de la résistivité du béton (classes XC) ou du facteur de vieillissement du béton (classes XS et XD).
- Pour la classe XS3, deux nouvelles classes permettent de distinguer le niveau d'agressivité du milieu si le béton est soumis seulement à des embruns (XS3e) ou bien s'il en zone de marnage (XS3m). Les valeurs limites sont différentes pour ces deux sous-classes.
- Pour la classe XD3, l'intensité du salage est prise en compte avec deux nouvelles classes (XD3f et XD3tf), et impacte les valeurs limite à considérer.
- Pour les classes d'exposition de type XA, les grandeurs de durabilité mesurées sont comparées à celles obtenues avec un béton de référence dans les mêmes conditions d'essai, sauf dans le cas particulier de classe XA3 sulfates (valeur limite).

En plus des grandeurs de durabilité, des indicateurs généraux liés à la durabilité sont déterminés en étude après 28 jours de cure. Quelle que soit la classe d'exposition à justifier, ces indicateurs sont :

- la porosité à l'eau (ou l'absorption du béton en préfabrication)
- la résistivité du béton.

La mesure de ces indicateurs en convenance et, selon le niveau de prévention, en contrôle de production, permet de vérifier que le béton fabriqué ne dévie pas de celui effectué en étude.

Point de vigilance :

La mise en place de l'approche performantielle doit être suffisamment anticipée en raison de la durée des essais

ANNEXE 2

Guide gel Recommandations pour la durabilité des bétons durcis soumis au gel

Les Recommandations pour la durabilité des bétons durcis soumis au gel ont été mises à jour en octobre 2021. Elles doivent être explicitement spécifiées dans les documents particuliers du marché pour être applicables. Par rapport à la version de 2003, les principales modifications portent sur les points développés ci-dessous.

Structure du document

La structure du document a été entièrement revisitée, en abandonnant le découpage par type de béton. Le corps principal décrit l'ensemble des thématiques à aborder dans le cas des formulations courantes : niveau de prévention, démarche qualité, constituants, formulation, essais, critères de conformité éprouvés, fabrication et mise en œuvre.

Les spécificités relatives aux bétons projetés et aux formulations alternatives (formulations avec granulats de résistance au gel F2 à F4, teneur en laitier de haut fourneau supérieure à 35%, cendres volantes et adjuvants entraîneur d'air, microbilles plastiques en remplacement de l'entraîneur d'air...) sont exposées en annexe A.

L'annexe B fournit divers compléments techniques : mécanismes de dégradation, aide à la détermination des classes d'exposition, modalités d'utilisation du facteur d'espacement de référence, exemples d'applications...

L'emploi des modalités de formulation alternative définies dans les annexes nécessite l'accord du maître d'œuvre ainsi que l'accompagnement de ce dernier par un laboratoire de contrôle extérieur ayant une forte compétence dans le domaine de la prévention des risques liés au gel avec ou sans sels.

Domaine d'application

Les chaussées béton ont été exclues du champ d'application du fait des particularités de formulation de ce type de béton. Les pistes d'aéroport ne sont couvertes que pour la caractéristique G, les fondants utilisés n'étant en général pas ioniques.

Précisions sur les classes d'exposition XF1 à XF4

La définition des classes d'exposition XF2 et XF4 a évolué depuis la parution des Recommandations de 2003. En effet, la première version de la norme béton (NF EN 206-1) ne distinguait pas les pièces très exposées au sel (parties d'ouvrages situées à moins de 6 m horizontalement et verticalement de la voie salée) des pièces très exposées au risque d'écaillage (parties d'ouvrage majoritairement horizontales et soumises aux projections directes de sels de déverglaçage). Les tableaux d'aide à la prescription des classes d'exposition, proposés en 2010 par l'Ecole Française du Béton, sont ainsi devenus obsolètes sur ce point. Afin d'éviter la sur-prescription, une mise à jour partielle est proposée en Annexe B3. Elle traite des classes d'exposition XF1 à XF4 pour le cas particulier des ouvrages d'art.

Constituants

Une ouverture a été réalisée quant à l'utilisation des additions, sur la base d'une justification performantielle. L'utilisation des laitiers de haut fourneaux est possible au-delà de 35% en masse du liant total, toutes sources confondues (modalités définies

en annexe A2). Si la formulation contient un adjuvant entraîneur d'air, l'obtention d'un facteur d'espacement des bulles d'air inférieur à 150 μm permet de valider les épreuves d'études et de convenance pour le caractère G, sous réserve de satisfaire aux autres exigences usuelles (résistance, consistance, rapport Eff/Leq...). Dans le cas contraire, l'étude doit être basée sur la détermination du facteur d'espacement de référence (modalités définies en annexe B5).

La possibilité d'utiliser des cendres volantes avec adjuvant entraîneur d'air est ouverte, sous réserve de renforcer les contrôles de teneur en air occlus à la mise en œuvre (modalités définies en annexe A3).

Les granulats de résistance au gel F2 à F4 peuvent être utilisés sous réserve de démontrer par des références d'utilisation ou des essais de performance sur béton (gel interne avec le cas échéant écaillage) qu'ils résistent au gel avec ou sans sels (modalités définies en annexe A1).

Dans le cas de bétons G formulés sans adjuvant entraîneur d'air, des ciments autres que les CEM I, CEM II/A ou B ou CEM IV peuvent être utilisés sur la base d'un accord du maître d'œuvre et de la réalisation d'essais de gel interne. Les modalités d'application sont définies dans l'annexe A4. Ces ciments (y compris les nouveaux ciments introduits par la norme NF EN 197-5) ne sont pas utilisables pour les formulations incorporant un adjuvant entraîneur d'air.

Modalités de réalisation des essais

Au niveau des échéances d'essais, les Recommandations de 2021 introduisent la possibilité de réaliser les essais d'écaillage à 90 j (mise en machine à 93 j) dans le cas où les parties d'ouvrages concernées ne seraient pas exposées aux sels de déverglaçage avant 90 j. C'est notamment le cas de la plupart des ouvrages neufs et de certaines pièces préfabriquées. Les adaptations nécessaires du mode opératoire sont décrites dans le §6.4.3. L'essai de gel interne reste, quant à lui, réalisé à 28 j. Ces dispositions visent à ne pas entraver l'emploi de formulations avec additions dont le plein développement des performances serait obtenu au-delà de 28 j. Leur emploi nécessite l'accord du maître d'œuvre.

En ce qui concerne les bétons projetés, la résistance au gel est évaluée à partir des essais de durabilité au gel interne (NF P18-424 ou NF P18-425), la détermination du facteur d'espacement étant généralement difficilement exploitable pour ce type de béton.

Du fait de l'irrégularité de surface du béton projeté, il n'est pas possible de maintenir une épaisseur de saumure constante sur la face exposée. L'essai d'écaillage est alors adapté pour être réalisé sur face sciée. Les seuils de conformité sont également adaptés (§A.6.5 de l'Annexe A).

La norme ASTM C457-98 est remplacée par la nouvelle norme française XP P18-465 « Bétons durcis - Détermination du facteur d'espacement des bulles d'air », qui présente l'avantage d'être rédigée en français et d'intégrer l'expérience des laboratoires français pratiquant couramment l'essai sous accréditation. Le principe général demeure inchangé.

La manière de définir la plage de conformité à utiliser pour la teneur en air occlus lors des épreuves de contrôle est explicitée dans le §7.2.2 et l'annexe B4. A la différence de la démarche retenue par la norme NF EN 206/CN, l'encadrement des teneurs en air conformes est défini en fonction des valeurs garantissant l'obtention des résistances en compression (limite haute) et de la durabilité au gel avec ou sans sels (limite basse).

Bétons mis en place par pompage

Les modalités de réalisation des essais pour les bétons mis en œuvre par pompage sont précisées. Dans le cas général, les essais sur béton frais, béton durci et de durabilité sont à réaliser en sortie de pompe. Dans le cas où les essais sur béton frais des épreuves de contrôle seraient réalisés avant pompage, les valeurs de teneur en air seront interprétées en tenant compte de la variation éventuelle de teneur en air constatée sous l'effet du pompage lors de l'épreuve de convenance. Dans ce cas, le programme de l'épreuve de convenance doit prévoir la réalisation des essais sur béton frais avant et après pompage et la réalisation des essais mécaniques et de durabilité après pompage.