

BIEN PRESCRIRE LES BÉTONS

**Recommandations à l'usage des maîtres
d'ouvrages et des maîtres d'oeuvre**

11 janvier 2024

PRESENTATION DE LA DEMARCHE

Recommandations à l'usage des maîtres d'ouvrages et des maîtres d'oeuvre

Un nouveau corpus normatif et réglementaire encadre désormais l'utilisation du matériau béton.

Toutes les normes constituent un ensemble de textes **cohérent, homogène et complet.**

Cette évolution s'inscrit dans une **logique de progrès** visant à optimiser :

- La **QUALITÉ DES BÉTONS,**
- La **DURABILITÉ DES OUVRAGES.**

Ces textes normatifs et réglementaires, en constante évolution imposent aux maîtres d'ouvrages et aux maîtres d'œuvres pour la mise au point de leur projet et de la rédaction de leur CCTP :

- Les **choix** fondamentaux
- Les **exigences** à satisfaire
- Les **responsabilités**

Recommandations à l'usage des maîtres d'ouvrages et des maîtres d'oeuvre

OBJECTIF DES RECOMMANDATIONS

- Transmettre aux rédacteurs du « CCTP Béton » des **ouvrages de Génie Civil en béton** (Ponts, passerelles, tranchées couvertes, ouvrages souterrains, ouvrages en site maritime, ouvrages en site fluvial ...) :
 - > Les bonnes pratiques et les éléments techniques nécessaires pour concevoir des bétons de qualité, adaptés aux besoins techniques et normatifs de l'ouvrage pour en assurer sa **durabilité**.
- Ouvrages concernés: Ouvrages ou parties d'**ouvrages en béton** armé, béton précontraint ou béton projeté réalisés en **Béton Prêt à l'Emploi** ou sur chantier, ou à partir de **produits préfabriqués en béton**.
- Travaux **neufs** ou les travaux de **réparation**, d'entretien ou de maintenance.

Recommandations à l'usage des maîtres d'ouvrages et des maîtres d'oeuvre

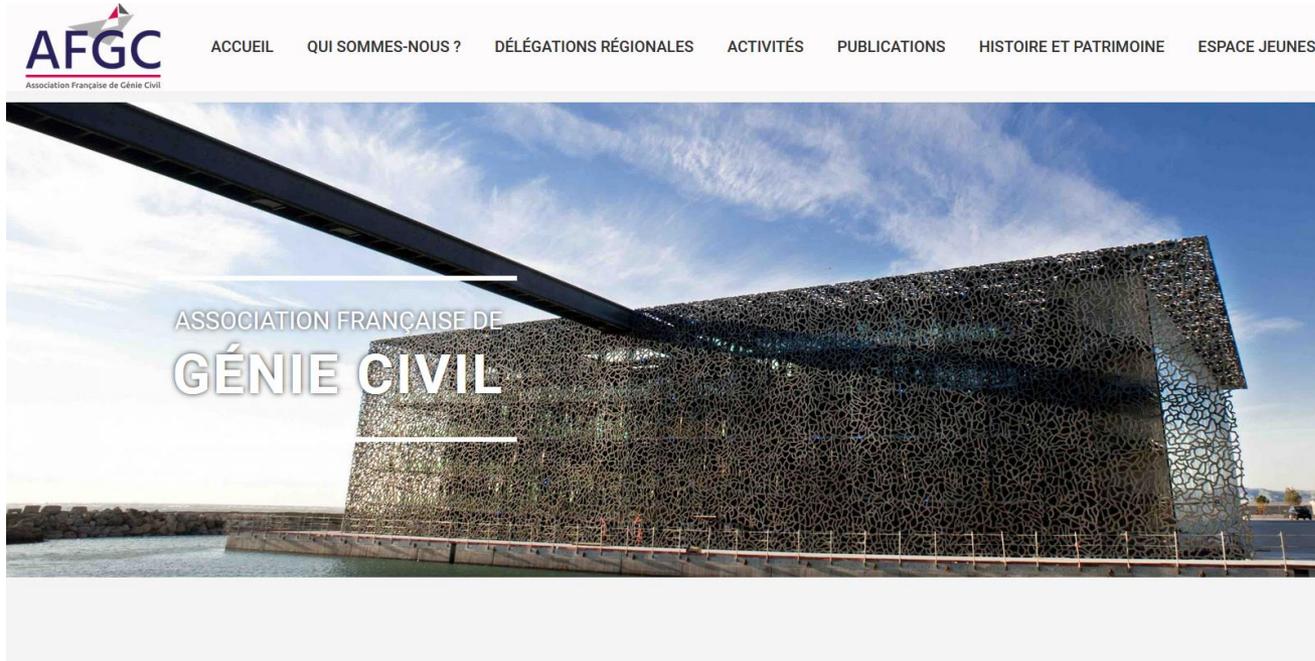
OBJECTIF DES RECOMMANDATIONS

- > Expliquer aux maîtres d'ouvrage les **choix fondamentaux** relevant de leur **responsabilité**
- > **Faciliter la rédaction des marchés de travaux** en mettant l'accent sur l'ensemble des éléments à fournir par le prescripteur, en explicitant la **cohérence** et les finalités **des diverses normes et fascicules** en vigueur et en permettant de prendre en compte les dernières **évolutions des bétons**.

Elles sont disponibles en version numérique sur le site de l'AFGC

Elles seront **régulièrement** complétées, **mises à jour** en fonction des évolutions du corpus normatif et réglementaire.

Recommandations à l'usage des maîtres d'ouvrages et des maîtres d'oeuvre



Recommandations à l'usage des maîtres d'ouvrages et des maîtres d'oeuvre



Accueil > Publications > Fiches « bien prescrire les bétons »

Publications

Fiches « bien prescrire les bétons »



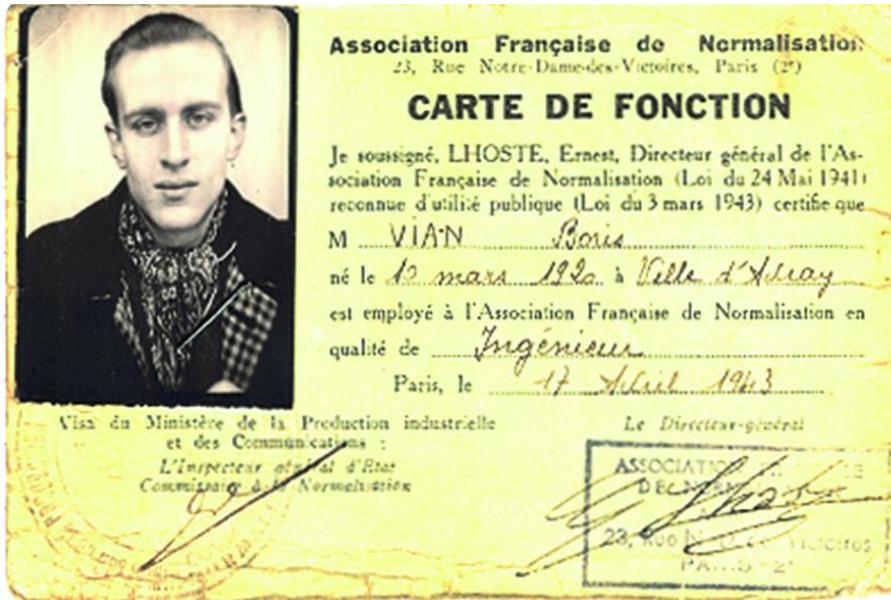
Ces recommandations sont destinées à transmettre des éléments techniques aux rédacteurs du « CCTP Béton » d'un ouvrage de Génie Civil : Ponts, passerelles, tranchées couvertes, ouvrages souterrains, ouvrages en site maritime, ouvrages en site fluvial pour :

- appréhender la cohérence et les finalités des diverses normes et fascicules en vigueur ;
- prendre en compte dans leur projet les dernières évolutions du contexte normatif sur les bétons, les ciments, les additions, les granulats, les adjuvants, les armatures, les produits préfabriqués en béton...les normes de dimensionnement des ouvrages et de mise en œuvre des bétons ;
- traduire les engagements et les responsabilités des intervenants : producteurs de bétons, préfabricants, entreprises, maître d'ouvrage et son maître d'œuvre...
- intégrer les exigences en matière de Développement Durable, de gestion des ressources, de recyclage et d'économie circulaire ;
- favoriser la prise en compte des dernières innovations et résultats d'expérimentations et de recherches ;

Recommandations à l'usage des maîtres d'ouvrages et des maîtres d'oeuvre

DE LA NORME, AU MARQUAGE CE ... A LA MARQUE NF





Boris Vian, Ingénieur normalisation (1943)

Systeme d'Unités Pifométriques - UNM 00-001

UNM 00-001 - janvier 2002
Indice de classement UNM 00-001
1^{ère} édition : UNM 00-000 - avril 1996

normalisation française

Grandeurs et unités
Systeme d'unités pifométriques.

Quantities and units - Nosemetrical system of units
Grossen und Einheiten - Nasimetrischeinheitensystem.

Norme interne, totalement expérimentale et non éditable par l'AFNOR.

Les observations relatives au présent document peuvent être adressées à l'UNM à tout moment, sans garantie de prise en considération

Ce document est libre de tout droit.

Sa diffusion par quelque moyen que ce soit, y compris la menace, est vivement encouragée.

antériorités	Le présent document est unique en son genre : aucune étude internationale sérieuse n'a jamais été entreprise en vue d'une pifo-normalisation globale des unités.
commentaires	Dans la série de normes relatives aux unités et symboles, le présent document aurait parfaitement sa place si les rigoristes forcenés de tous poils prenaient davantage conscience de l'existence de leur nez plutôt que de celle de leur nombril.
descripteurs	pif, nez, tarin, blase, tarbouif, nase.
modifications	Nouvelles définitions et exemples complémentaires.
corrections	Corrigé et enrichi sur la base d'un bénévolat émérite et méritoire.

CONSTRUIRE UN OUVRAGE

Répondre à des contraintes

Règlementaires (sismique, feu...)

Relation contractuelle entre différents acteurs :

- Maître d'ouvrage
- Maître d'œuvre
- Entreprises
- Industriels



Principes:

Application de textes OBLIGATOIRES (décrets/arrêtés)

et **VOLONTAIRES** (normes)

Recommandations à l'usage des maîtres d'ouvrages et des maîtres d'oeuvre

Une **NORME** est :

- Une **spécification technique** : document définissant les caractéristiques d'un produit ou d'un service,
- Le fruit d'un **consensus** entre différents intervenants : fabricants , maîtres d'ouvrage, utilisateurs...,
- **Approuvée par un organisme reconnu à activité normative,**
- Destinée à une **application ou un usage répété,**
- Un **langage commun et une référence commune.**

ELLE CODIFIE L'ETAT DE LA TECHNIQUE

En règle générale elle est **d'APPLICATION VOLONTAIRE**

Recommandations à l'usage des maîtres d'ouvrages et des maîtres d'oeuvre

APPLICATION DES NORMES ?

Répond à un besoin de parler le même « langage » dans un domaine donné

Article 17 du Décret n° 2009-697 du 16 juin 2009 relatif à la normalisation modifié par le Décret n° 2021-1473 du 10 novembre 2021

Les normes sont d'application volontaire.

Toutefois, les normes peuvent être rendues d'application obligatoire par arrêté signé du ministre chargé de l'industrie et du ou des ministres intéressés.

Les normes rendues d'application obligatoire sont consultables gratuitement sur le site internet de l'Association française de normalisation. L'Association française de normalisation rend ces normes téléchargeables et imprimables gratuitement, sauf en cas d'opposition dûment justifiée d'un tiers détenteur de droits de propriété intellectuelle sur celles-ci.



une norme doit être citée dans les Documents Particuliers du Marché (CCTG < CCTP)

Recommandations à l'usage des maîtres d'ouvrages et des maîtres d'oeuvre

NORMES OBLIGATOIRES ?

Ex: Norme d'application obligatoire par référence à un texte réglementaire

Arrêté du 22 octobre 2010 relatif à la classification et aux règles de construction parasismique applicables aux bâtiments de la classe dite « à risque normal »

Art. 4. – I. – Les règles de construction applicables aux bâtiments mentionnés à l'article 3 sont celles des normes NF EN 1998-1 septembre 2005, NF EN 1998-3 décembre 2005, NF EN 1998-5 septembre 2005, dites « règles Eurocode 8 » accompagnées des documents dits « annexes nationales » des normes NF EN 1998-1/NA décembre 2007, NF EN 1998-3/NA janvier 2008, NF EN 1998-5/NA octobre 2007 s'y rapportant.



EUROCODE 8

Recommandations à l'usage des maîtres d'ouvrages et des maîtres d'oeuvre

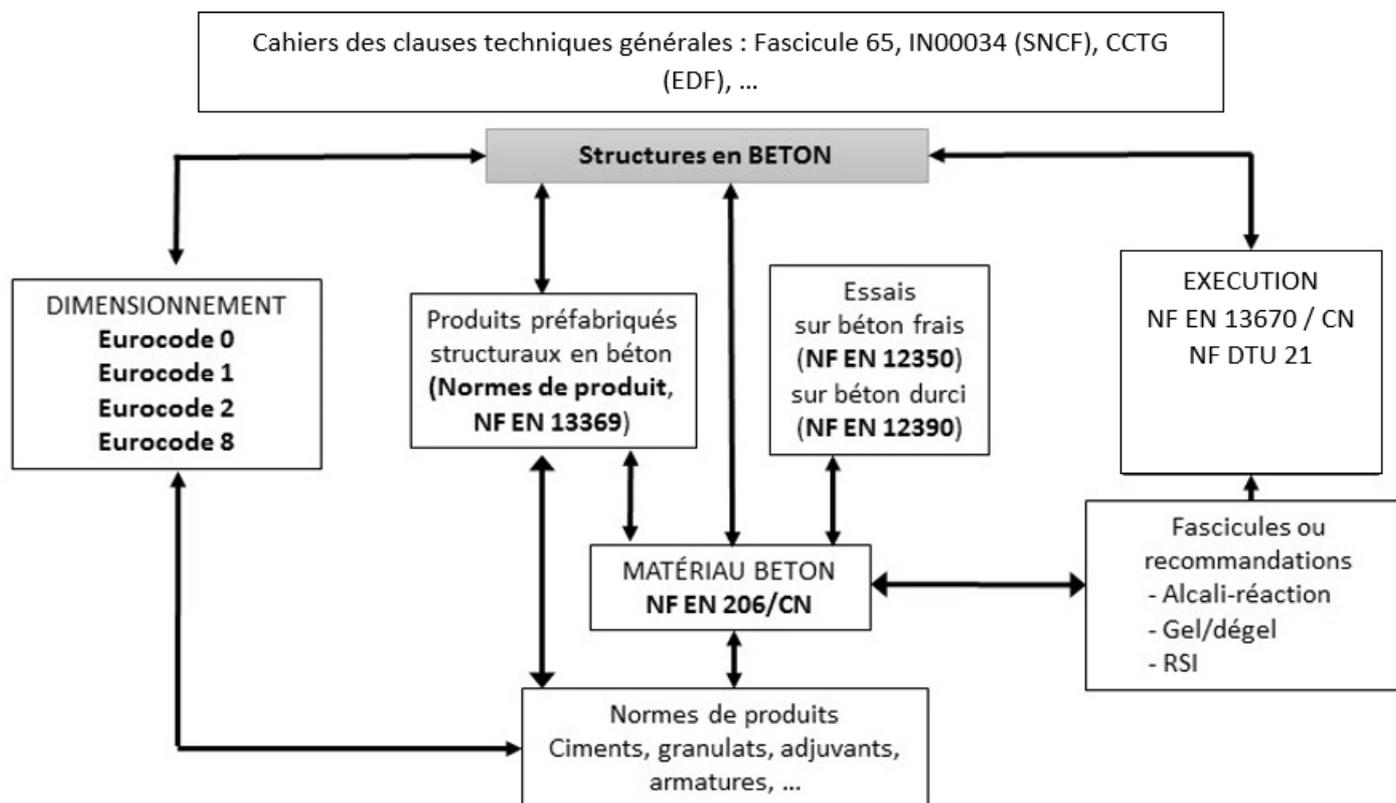
QUEL TYPE DE NORME ?

- Les **NORMES DE MATERIAUX** et de **PRODUITS** qui définissent en particulier les caractéristiques des composants,
- Les **NORMES D'ESSAIS** qui fixent les méthodologies à respecter pour mesurer les caractéristiques des produits,
- Les **NORMES de CONCEPTION et de DIMENSIONNEMENT**,
- Les **NORMES de MISE EN ŒUVRE et d'EXECUTION**,
- Les **NORMES D'ORGANISATION**.



Recommandations à l'usage des maîtres d'ouvrages et des maîtres d'oeuvre

ARCHITECTURE DES NORMES RELATIVES AU BETON



Recommandations à l'usage des maîtres d'ouvrages et des maîtres d'oeuvre

ORGANISATION DE LA NORMALISATION?

INTERNATIONAL

ISO

(Organisation Internationale de
Normalisation)



EUROPE

CEN

(Comité Européen de
Normalisation)



FRANCE

AFNOR

(Association Française de
Normalisation)



**Commissions
miroirs**

Recommandations à l'usage des maîtres d'ouvrages et des maîtres d'oeuvre



HIERARCHIE ET COEXISTENCE DES NORMES

Norme européenne homologuée EN
Impérativement mise en application sous la forme d'une norme nationale et retrait de toute norme nationale contradictoire

Spécification technique CEN /TS
Document qui peut faire l'objet d'une EN

Rapport technique CEN/TR
Document dont le contenu est informatif et inadapté à une norme



Norme homologuée NF (équivalent EN)
Ex: NF EN 197-1 Ciment - Partie 1 : composition, spécifications et critères de conformité des ciments courants

Norme expérimentale XP (équivalent CEN /TS)
Ex: XP P 18-420 : essai d'écaillage des surfaces de béton durci exposées au gel en présence d'une solution saline

Fascicule de Documentation FD (équivalent CEN/TR)
Ex: FD P 18-326 : Béton – zones de gel en France

Recommandations à l'usage des maîtres d'ouvrages et des maîtres d'oeuvre

LES ANNEXES (ou COMPLEMENTS) NATIONALES

Les textes européens autorisent le recours à des **DISPOSITIONS NATIONALES**

(Choix des niveaux de fiabilité et de sécurité des projets)

→ **Annexes Nationales: NA**

norme européenne

NF EN 1992-1-1
Octobre 2005

norme française

NF EN 1992-1-1/NA
24 Mars 2016

Indice de classement : P 18-711-1/NA

ICS : 91.010.30 ; 91.080.40

**Eurocode 2 : Calcul des structures en béton —
Partie 1-1 : Règles générales et règles pour les bâtiments —
Annexe Nationale à la NF EN 1992-1-1:2005 —
Règles générales et règles pour les bâtiments**

E : Eurocode 2: Design of concrete structures — Part 1-1 : General rules and rules for buildings — National annex to NF EN 1992-1-1:2005 — General rules and rules for buildings

D : Eurocode2: Planung von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken — Teil 1-1 : Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau — Nationaler Anhang zu NF EN 1992-1-1:2005 — Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau

Recommandations à l'usage des maîtres d'ouvrages et des maîtres d'oeuvre

LE MARQUAGE CE



Le **MARQUAGE CE** est un **marquage déclaratif obligatoire (obligation réglementaire)** pour tout produit de bâtiment ou de Génie Civil mis sur le marché dans l'espace de l'Union Européenne.

- Il signifie que le produit peut être mis sur le marché,
- **Il permet au produit de circuler librement dans l'espace économique européen,**
- Il atteste que le produit respecte les exigences du Règlement Produits de Construction :RPC,
- Il atteste la conformité du produit à la partie harmonisée de la **norme européenne** (selon les modalités définies dans l'annexe ZA) ou de l'**ETE**,
- Il constitue un engagement de l'industriel sur les caractéristiques harmonisées des produits et sur le respect des procédures d'évaluation de la conformité.

Suivant le type de produit de construction, le **système d'évaluation des performances** varie ainsi que **le niveau d'évaluation du Contrôle de Production en Usine (CPU)**.

Recommandations à l'usage des maîtres d'ouvrages et des maîtres d'oeuvre

EVALUATION TECHNIQUE EUROPÉENNE (ETE)



Alternative pour conduire au marquage CE d'un produit de construction dès lors qu'il n'existe pas de norme harmonisée pour ce produit.



Produits innovants.

- Mise en place avec le RPC, elle succède aux **Agréments Techniques Européens (ATE)**.

L'ETE est délivrée par un Organisme d'Evaluation Technique (OET) sur la base d'un document d'évaluation européen.

Recommandations à l'usage des maîtres d'ouvrages et des maîtres d'oeuvre

<p>Service d'Études sur les transports, les routes et leurs aménagements 46 avenue Aristide Briand BP 100 92 225 BAGNEUX CEDEX Tél : + 33 (0)1 46 11 31 31 Fax : + 33 (0)1 46 11 31 69</p>		<p>Authorised and notified according to Article 10 of the Council Directive of 21 December 1988 on the approximation of laws, regulations and administrative provisions of Member States relating to construction products (the CECCO)</p>		<p>Sétrra Service d'études sur les transports, les routes et leurs aménagements</p>
		<p>MEMBRE DE L'EOTA MEMBER OF EOTA</p>		
<p>Agrément Technique Européen No. ETA-06/0006 (Version originale en français) Version du 28 Juillet 2011</p>				
<p>Nom commercial Trade name Détenteur de l'ATE Holder of approval</p>	<p>Procédé de précontrainte VSL VSL Post-Tensioning System VSL INTERNATIONAL Ltd. Saggestrasse, 76 CH - 3098 KOENIZ</p>	<p>Procédés de précontrainte des structures par post-tension (Communément appelés procédés de précontrainte)</p>		
<p>Type générique et utilisation prévue du produit de construction</p>	<p>Post-tensioning Kits for prestressing of Structures (Commonly called Post-Tensioning Systems)</p>			
<p>Generic type and use of construction product</p>	<p>31/03/2011 31/03/2016</p>			
<p>Valable du : au :</p>	<p>CTT - Stronghold, SA Ribera del Congost, s/n SP - 08520 Les Franqueses del Vallès (Barcelona)</p>			
<p>Producteur du procédé Kit manufacturer</p>	<p>ETA-06/0006 valide du 31/07/2006 au 30/07/2011 ETA-06/0006 with validity from 31/07/2006 to 30/07/2011</p>			
<p>Cet Agrément Technique Européen est un renouvellement de validité de This European Technical Approval extends</p>	<p>8+(4+60+32) pages incluant 3 annexes (0, 1, 2) faisant partie intégrante du document. 8+(4+60+32) pages including 3 annexes (0, 1, 2) which form an integral part of the document.</p>			
<p>Le présent agrément technique européen contient This European Technical Approval contains</p>	<p>EOTA Organisation pour l'Agrément Technique Européen European Organisation for Technical Approvals</p>			

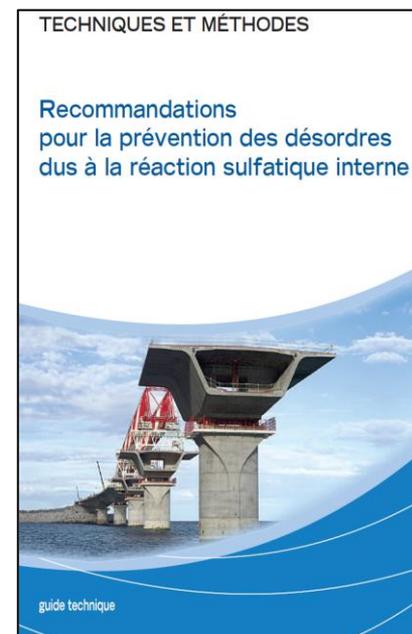
RECOMMANDATIONS ET GUIDES

Tous les textes techniques ne sont pas des normes

Ils s'imposent comme des textes unanimement reconnus par la profession



A CITER DANS LES DPM POUR ETRE APPLICABLES



Recommandations à l'usage des maîtres d'ouvrages et des maîtres d'oeuvre

LA CERTIFICATION

norme européenne	NF EN 1992-2
norme française	Maï 2006
	Indice de classement : P 18-720-1
	ICS : 91.080.40 ; 93.040
Eurocode 2	
Calcul des structures en béton	
Partie 2 : Ponts en béton — Calcul et dispositions constructives	



Ne pas confondre les deux acronymes NF

Recommandations à l'usage des maîtres d'ouvrages et des maîtres d'oeuvre

LA CERTIFICATION

CERTIFICATION : marque de qualité d'application volontaire qui permet de s'assurer de l'aptitude à l'usage d'un produit ou d'un système.

Marquage CE \neq Qualité

« Marquage CE d'une radio garantit qu'elle n'explosera pas à l'usage mais ne garantit pas la bonne réception de toutes les fréquences »



La certification volontaire est un **complément au marquage CE** d'un produit de construction.

Recommandations à l'usage des maîtres d'ouvrages et des maîtres d'oeuvre

LA CERTIFICATION

- **La marque NF** est une **démarche volontaire** de certification qui s'adresse aux prescripteurs et utilisateurs,
- Elle signifie que le produit répond aux exigences essentielles et aux qualités d'usage. Elle certifie que les performances des produits sont conformes aux compléments nationaux d'application des normes européennes,
- Elle garantit, sous la responsabilité du certificateur et après audits, essais et inspections, que le produit respecte les valeurs seuils d'aptitude à l'emploi définies dans les textes de référence et que les exigences ont été contrôlées par un organisme tiers et qu'elles sont effectivement respectées de façon continue par le fabricant.
- **La marque NF apporte l'assurance :**
 - De produits conformes à la norme européenne (parties harmonisée + volontaire) et aux exigences de référentiel de certification,
 - De la cohérence du niveau de performances certifiées avec les règles de l'art.

Recommandations à l'usage des maîtres d'ouvrages et des maîtres d'oeuvre

LA CERTIFICATION

Les marques volontaires **ne peuvent pas être rendues obligatoires**

- ni par le biais d'une prescription dans un marché public (il est possible de prescrire un produit bénéficiant de la marque NF, mais cette prescription doit être complétée par le terme « **ou équivalent** ») ;

FASCICULE
65

8.3.1.1. Bétons prêts à l'emploi (BPE)

Les bétons et l'installation de fabrication bénéficient de la marque NF – BPE ou équivalent.

- ni par le biais d'une réglementation nationale (aucune disposition réglementaire de portée générale ne peut rendre une marque volontaire nationale d'usage obligatoire dans un Etat membre).



Il ne faut donc pas confondre l'exigence (dans un marché) de produits conformes à une norme française NF et l'exigence de produits certifiés portant la marque NF.

Recommandations à l'usage des maîtres d'ouvrages et des maîtres d'oeuvre

DUREE D'UTILISATION DE PROJET

La **durée d'utilisation de projet** a une incidence sur :

- Les propriétés et la **formulation** du béton requises pour assurer sa durabilité
- Les **valeurs d'enrobage** des armatures

CHOIX DE LA DUREE D'UTILISATION DE PROJET

CATÉGORIES DE DURÉE D'UTILISATION DE PROJET (tableau 2.1 (NF) de l'article 2.3 - Durée d'utilisation de projet - de la norme NF EN 1990/NA)

Catégorie de durée d'utilisation de projet	Durée d'utilisation de projet	Exemples
1	10	Structures provisoires
2	25	Éléments structuraux remplaçables
3	25	Structures agricoles et similaires
4	50	Bâtiments et autres structures courantes
5	100	Bâtiments monumentaux Autres ouvrages de Génie Civil

Note : **Pour des durées d'utilisation de projet supérieures à 100 ans**, les valeurs de spécifications normatives ne peuvent s'appliquer.



Le maître d'ouvrage devra alors nécessairement faire appel à des méthodes avancées de justifications.

Recommandations à l'usage des maîtres d'ouvrages et des maîtres d'oeuvre

DUREE D'UTILISATION DE PROJET ET NOTION DE DURABILITE

DEFINITION DE LA DUREE D'UTILISATION DE PROJET (Article 1.5.2.8 - Durée d'utilisation de projet - de la norme NF EN 1990)

« **Durée pendant laquelle une structure ou une de ses parties est censée pouvoir être utilisée comme prévu en faisant l'objet de la maintenance escomptée, mais sans qu'il soit nécessaire d'effectuer des réparations majeures** »



LA DURABILITE REPOSE SUR

Une conception adaptée + un choix approprié des composants, des matériaux + un choix approprié des dispositions constructives + une qualité d'exécution + une utilisation de l'ouvrage conforme aux hypothèses du projet + des opérations de maintenance courantes et régulières pendant la **durée d'utilisation** de la structure.

Recommandations à l'usage des maîtres d'ouvrages et des maîtres d'oeuvre

NOTIONS DE DURABILITE (Article 4 de la norme NF EN 1990)

Afin d'assurer une **durée** adéquate de la structure, il convient de prendre en compte les facteurs suivants :

- l'utilisation prévue ou prévisible de la structure
- les critères de dimensionnement requis
- les **influences escomptées de l'environnement**
- la **composition, les propriétés et les performances des matériaux et des produits**
- les propriétés du sol
- le choix du système structural
- la forme des éléments structuraux et les dispositions constructives
- la qualité de mise en œuvre et le niveau de contrôle
- les mesures de protection spécifiques
- la maintenance escomptée pendant la durée d'utilisation de projet

Recommandations à l'usage des maîtres d'ouvrages et des maîtres d'oeuvre

CATEGORIE DE DUREE D'UTILISATION DE PROJET ET CLASSE STRUCTURALE

NE PAS CONFONDRE :



- les **catégories de durée d'utilisation de projet** (1 à 5) auxquelles sont associées une durée d'utilisation de projet (50 ans par exemple pour les bâtiments), et
- les **classes structurales** (S1 à S6) qui sont utilisées pour déterminer et optimiser **l'enrobage des armatures** (déterminée au stade des études d'exécution).



*Ex: La **classe structurale** associée à une durée d'utilisation de projet de 50 ans est la classe S4 Le tableau 4.3 NF de la norme NF EN 1992-1-1 permet d'optimiser la classe structurale à prendre en compte*

NORME NF EN 206+A2/CN ET FASCICULE 65

La **norme NF EN 206+A2/CN** spécifie les propriétés des bétons pour une durée d'utilisation de **50 ans** :

- (*e.g NA.F.*) dosage en liant équivalent minimum
- rapport eau efficace sur liant équivalent maximal
- résistance minimale en compression

Le **fascicule 65** qui couvre les ouvrages de Génie Civil (durée d'utilisation de **100 ans**) propose de renforcer les exigences de composition des bétons par rapport aux valeurs de la norme NF EN 206+A2/CN.

Recommandations à l'usage des maîtres d'ouvrages et des maîtres d'oeuvre

CE QU'IL FAUT RETENIR...

Le choix de la durée d'utilisation de projet est de la responsabilité du maître d'ouvrage.

La durée d'utilisation de projet (en général 100 ans pour les ouvrages de Génie Civil) doit être précisée dans le CCTP.

Exemple de rédaction à inclure dans le CCTP :

La durée d'utilisation de projet est de 100 ans.

**Merci de votre
attention**

DECOMPOSITION EN PARTIES D'OUVRAGE TABLEAU DE DEFINITION DES BETONS

Recommandations à l'usage des maîtres d'ouvrages et des maîtres d'oeuvre

LA PRESCRIPTION DES BETONS

La décomposition de l'ouvrage en parties d'ouvrage doit être précisée dans le CCTP.

Exemple de texte à intégrer au CCTP :

Les bétons de structure sont conformes aux prescriptions de la norme NF EN 206/CN « Béton - Spécification, performance, production et conformité - Complément national à la norme NF EN 206 ».

Pour les produits en béton fabriqués en usine, ils sont conformes à leur norme de produit et/ou à la norme NF EN 13369 « Règles communes pour les produits préfabriqués en béton ».

En outre, la conformité aux prescriptions figurant dans le document de référence suivant : Fascicule 65 du CCTG, IN00034 SNCF, CCTG EDF (à choisir le cas échéant) est exigée.

Recommandations à l'usage des maîtres d'ouvrages et des maîtres d'oeuvre

LA PRESCRIPTION DES BETONS

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

TABLEAU DE DEFINITION DES BETONS

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

Les formulations des bétons non structuraux et non armés sont proposées par l'Entreprise à l'approbation du Maître d'œuvre.

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

DECOMPOSITION EN PARTIES D'OUVRAGE TABLEAU DE DEFINITION DES BETONS

- **Norme NF EN 206/CN**
 - Durabilité 50 ans
 - Classes d'exposition
 - Spécifications de moyens (tableaux NA.F.) ou méthode performantielle (FD P18-480)
- **Fascicule 65 du CCTG**
 - Durabilité 100 ans
 - Classes d'exposition
 - Spécifications de moyens renforcées (E/Leq) ou méthode performantielle (FD P18-480)
- **Eurocode 2 (EN 1992-1-1)**
 - Durabilité 100 ans (variable : classe structurale)
 - Béton conforme à la NF EN 206/CN
 - **Enrobage majoré (+ 10mm)**
 - Modulation en fonction de la «Qualité du béton»

Recommandations à l'usage des maîtres d'ouvrages et des maîtres d'oeuvre

DECOMPOSITION EN PARTIES D'OUVRAGE TABLEAU DE DEFINITION DES BETONS

Tableau 8.B – Valeurs limites applicables selon le fascicule 65 pour la composition et les propriétés du béton en fonction de la classe d'exposition

	Classes d'exposition																
	Corrosion induite par carbonatation				Corrosion induite par les chlorures						Attaque gel / dégel				Environnements chimiquement agressifs		
					Eau de mer			Chlorures autres que l'eau de mer									
XC1	XC2	XC3	XC4	XS1	XS2	XS3	XD1	XD2	XD3	XF1	XF2	XF3 ^{a)}	XF4 ^{a)}	XA1	XA2	XA3 ⁿ⁾	
Rapport $E_{eff}/liant$ éq maximal ^{d)}	0,60	0,60	0,55	0,50 ^{l)}	0,50	0,50	0,45	0,50	0,50	0,45	0,50 ^{l)}	0,45	0,50	0,45	0,50	0,45	0,40
Classe de résistance minimale ^{c)}	C25/30	C25/30	C30/37	C30/37	C30/37 ^{p)}	C30/37 ^{p)}	C35/45	C30/37	C30/37 ^{p)}	C35/45	C30/37	C35/45	C30/37	C35/45 ^{q)}	C30/37	C35/45	C40/50
Teneur mini en liant éq (kg/m ³) ^{b) c) d)}	280	280	300	330	330	330	350	330	330	350	330	350 ^{r)}	385 ^{o)}	385 ^{o)}	330	350	360
Absorption d'eau maxi pour les produits préfabriqués en usine (%)	6,5 ^{m)}	6,5 ^{m)}	6 ^{m)}	6 ^{m)}	5,5 ^{m)}	5,5 ^{m)}	5 ^{m)}	6 ^{m)}	5,5 ^{m)}	5 ^{m)}	6 ^{m)}	5 ^{m)}			5,5 ^{m)}	5 ^{m)}	4,5 ^{m)}
Teneur minimale en air (%)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	- ^{r)}	4 ^{e)}	4 ^{e)}	-	-	-
Essai(s) de performances ^{k)}												XP P 18-420	NF P 18-424 (ou NF P 18-425)	NF P 18-424 (ou NF P 18-425) XP P 18-420			

FASCICULE

65

(2017)



Recommandations à l'usage des maîtres d'ouvrages et des maîtres d'oeuvre

DECOMPOSITION EN PARTIES D'OUVRAGE TABLEAU DE DEFINITION DES BETONS

3.2.4.4 Dosage en liant

Pour les bétons de classe de résistance $\leq C25/30$, le dosage en liant est a minima celui défini dans les tableaux NA.F 1 et NA.F 2 de la norme NF EN 206-1/CN, amendé des prescriptions de l'article 3.1.7.1 du présent document.

Pour les bétons de classe de résistance $> C25/30$, le dosage en liant est **supérieur ou égal à 330 kg/m^3** pour les bétons courants et **385 kg/m^3** pour les fondations profondes. En cas de risque de RSI, un dosage plus faible peut être soumis à l'acceptation de SNCF-PSIGT-OA).

3.2.4.5 Rapport Eeff/Liant

Pour les bétons de classe de résistance $\leq C25/30$, le rapport Eeff/Liant est a minima celui défini dans les tableaux NA.F 1 et NA.F 2 de la norme NF EN 206-1/CN.

Pour les bétons de classe de résistance $> C25/30$, le rapport Eeff/Liant est a minima celui défini dans les tableaux NA.F. 3 et NA.F.4 de la norme NF EN 206-1/CN.



**IN00034
(2014)**

FACTEURS DE DÉCOUPAGE EN PARTIES D'OUVRAGE

- Partie d'ouvrage **structurelle** ou **non-structurelle**
- **Mode de mise en œuvre** (pour le béton projeté, voir la fiche de recommandation « Spécificités du béton projeté »)
- **Catégorie d'ouvrage** (voir *fiche de Recommandations « Prescriptions complémentaires vis-à-vis de la Durabilité : RAG et RSI »*)
- **Classes d'exposition** (voir *fiche de Recommandations « Choix des classes d'Exposition selon la norme NF EN 206/CN »*)
- **Classe de résistance** en compression à 28 jours (vis-à-vis de la durabilité ou pour le dimensionnement de la partie d'ouvrage)
- **Catégorie de béton** : non armé, armé, précontraint (pré-tension ou post-tension)
- Exigences particulières de qualité de **parement** (voir *fiche de Recommandations « Qualité des parements »*)
- **Pièce critique ou non** au sens des recommandations RSI (voir *fiche de Recommandations « Prescriptions complémentaires vis-à-vis de la Durabilité : RSI »*)

Recommandations à l'usage des maîtres d'ouvrages et des maîtres d'oeuvre

RENSEIGNEMENT DU TABLEAU DE DEFINITION DES BETONS (1/2)

- **Classes d'exposition** : mentionner l'ensemble des classes d'exposition
 - dans le cas d'ouvrages provisoires, la classe d'exposition peut être relaxée
 - dans le cas de classe XA, préciser la nature des agents agressifs (sulfate, acide, ...) afin que la nature de ciment appropriée puisse être définie
- **Type de béton** : béton non armé (NA), armé (BA) ou précontraint (BP) par pré-tension ou par post-tension
- **Classe de résistance caractéristique minimale en compression à 28 jours** : classe de résistance caractéristique en compression à 28j requise pour la justification structurelle de la partie d'ouvrage (ou celle associée à l'exigence de durabilité si elle est supérieure)

RENSEIGNEMENT DU TABLEAU DE DEFINITION DES BETONS (2/2)

- **Niveau de prévention RAG** : A, B ou C (voir fiche de recommandations « Prescriptions complémentaires vis-à-vis de la Durabilité : RAG »)
- **Niveau de prévention RSI** : As, Bs, Cs ou Ds (voir fiche de recommandations « Prescriptions complémentaires vis-à-vis de la Durabilité : RSI »)
- **Nature de ciment**: PM, ES, SR, CP1 ou CP2 (en fonction des classes d'exposition, de la nature des agressions chimiques éventuelles et de l'utilisation d'armatures de précontrainte – voir en particulier l'annexe NA.F de la norme NF EN 206/CN)
- **Prescriptions complémentaires** : tenue au gel et aux sels (béton G ou G+S), tenue au feu, qualité de parement, ...

A NOTER

Classes XA : cas des milieux sulfatiques (NF EN 197-1 : 2012)

- Les ciments CEM I résistants aux sulfates sont désignés « **SR** » (SR0, SR3 ou SR5 selon le taux de C3A)
- Les ciments CEM III/B et CEM III/C résistants aux sulfates sont également désignés « **SR** »
- Les ciments CEM III/A résistants aux sulfates sont désignés « **ES** », de même que les CEM V et les CEM II

- 
- La **norme EN 206** reconnaît l'équivalence **SR – ES** avec des restrictions sur les taux de SO₃ et (C₄AF) + 2 (C₃A)
 - Le **Fascicule 65** reconnaît l'équivalence **SR – ES** à condition que le ciment soit **certifié NF-LH**

Recommandations à l'usage des maîtres d'ouvrages et des maîtres d'oeuvre

RENSEIGNEMENT DU TABLEAU DE DEFINITION DES BETONS

Les formulations des bétons non structurels et non armés sont en général des BCP selon la norme NF EN 206+A2/CN, associés à la classe d'exposition X0 (exemple pour un béton de propreté : « BCP 150kg/m³ »).

Désig.	Domaine d'emploi	Classe de résistance	Classe d'exposition	Dsup	Niveau de prévention RSI	Dosage mini de liant équivalent kg/m ³	Type de ciment
B1	Béton de propreté	C16/20	Sans objet	30	-	230	Ciment courant



Recommandations à l'usage des maîtres d'ouvrages et des maîtres d'oeuvre

AUTRES PARAMETRES NON DEFINIS AU CCTP

- **Dosages minimaux en liant équivalent** : fixés par les documents de référence (NF EN 206+A2/CN, Fascicule 65, ...)



Pas utile de les rappeler ni conseillé de les augmenter.

- **Choix du type de liant ou du type de ciment** (désignation normalisée : CEM I, CEM II, CEM III, ...) : **à l'initiative de l'Entreprise (ou du Préfabricant).**
- **Consistance du béton et Dmax des granulats** : **à définir par l'Entreprise** (ou le Préfabricant) en fonction des méthodes de mise en œuvre retenues.
- **Classe de teneur en chlorures** : **à définir par l'Entreprise (ou le Préfabricant)** en fonction du type de liant ou de ciment utilisé et du type de béton (non armé, armé, précontraint par post-tension ou par pré-tension).

Recommandations à l'usage des maîtres d'ouvrages et des maîtres d'oeuvre

EXEMPLE DE TABLEAU DE DEFINITION DES BETONS (POUR UN PONT EN BÉTON PRÉCONTRAIT DANS UNE ZONE DE GEL MODÉRÉ ET DE SALAGE FRÉQUENT)

Partie d'ouvrage	Classes d'exposition	Type de béton	Classe de résistance caractéristique minimale en compression à 28 jours	Niveau de prévention RAG	Niveau de prévention RSI	Prescriptions complémentaires
Fondations profondes	XC2/XA2	BA	C35/45	B	Cs	Conforme à l'annexe D de la norme NF EN 206/CN Liant conforme FD P18-011
Semelles de piles et culées	XC2/XA1	BA	C30/37	B	Cs	
Piles et culées non exposées aux sels de déverglaçage	XC4/XF1	BA	C30/37	B	Bs	EQP
Piles et culées exposées aux sels de déverglaçage	XC4/XF2 *	BA	C35/45	B	Bs	EQP Ciment PM, ES ou SR
Tablier précontraint	XC4/XF1	BP	C40/50	B	Bs	Ciment CP1 ou CP2
Murets de BN1	XC4/XF2	BA	C30/37	B	Bs	Ciment PM, ES ou SR

Recommandations à l'usage des maîtres d'ouvrages et des maîtres d'oeuvre

QUELQUES EXEMPLES DE SPECIFICATIONS INADAPTEES



Les granulats doivent être qualifiés **non réactifs (NR)**. Toutefois, des granulats potentiellement réactifs à effet de pessimum (PRP), peuvent être utilisés sous réserve que les deux conditions du chapitre 9 du guide technique "Recommandations pour la prévention des désordres dus à l'alcali-réaction" édité par le LCPC en juin 1994 soient vérifiées.

Les granulats doivent être non réactifs (NR). Toutefois, des granulats potentiellement réactifs à effet de pessimum (PRP) peuvent être utilisés sous réserve que les deux conditions du chapitre 9 du guide technique "Recommandations pour la prévention des désordres dus à l'alcali-réaction" édité par le LCPC en juin 1994 soient vérifiées. Si ces conditions ne sont pas vérifiées, les granulats sont considérés comme **potentiellement réactifs (PR)** et toutes les dispositions du présent CCTP relatives aux granulats potentiellement réactifs leurs sont applicables.

QUELQUES EXEMPLES DE SPECIFICATIONS INADAPTEES



Désig.	Domaine d'emploi	Classe de résistance	Classe d'exposition	Dsup	Niveau de prévention RSI	Dosage mini de liant équivalent kg/m ³	Type de ciment
B5	Béton de parois moulées Ouvrages annexes	C40/50	XC3 / XD2 / XA3 / XH3	20	Ds	400	CEM III/B 42,5 – SR ou CEM III/B 52,5 – SR Adjuvant hydrofuge

QUELQUES EXEMPLES DE SPECIFICATIONS INADAPTEES



Désig.	Domaine d'emploi	Classe de résistance	Classe d'exposition	Dsup	Niveau de prévention RSI	Dosage mini de liant équivalent kg/m ³	Type de ciment
B11	Béton de rechargement sous voie	C25/30	XC3 / XD2 / XA1 / XH3	20	Ds	350	CEM III/A PM ES ou CEM III/B 52,5 – SR

RISQUES LIÉS À L'ABUS DE SPÉCIFICATIONS

- **Pieux du Pont de Normandie**

B40 imposé  béton trop visqueux



- **Réfection du Rocher de Vincennes**

Grosse étude spécifique de durabilité sur un béton non pompable (formulation imposée)

- **Pont d'Allone à Beauvais**

C60/75 à faible chaleur d'hydratation avec au moins 385 kg/m³ de ciment CEM I (pièces massives : risque de RSI)



Recommandations à l'usage des maîtres d'ouvrages et des maîtres d'oeuvre

CE QU'IL FAUT RETENIR ...

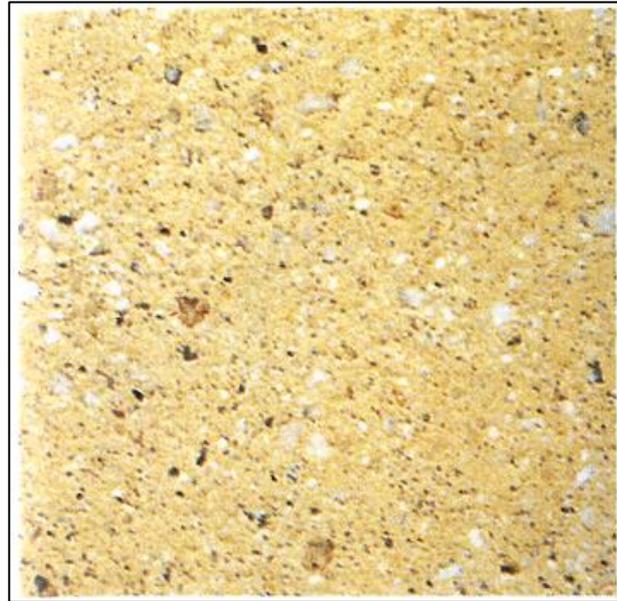
- **Bien lister les différentes parties d'ouvrage**
- **Indiquer pour chacune les spécifications strictement nécessaires**
 - *Classes d'exposition*
 - *Niveau de prévention RAG*
 - *Niveau de prévention RSI*
- **Eviter les prescriptions de moyens**

EN RESUME ...

**« LE MIEUX EST LE MORTEL ENNEMI DU BIEN »
(Montesquieu)**

Merci pour votre attention

QUALITÉ DES PAREMENTS

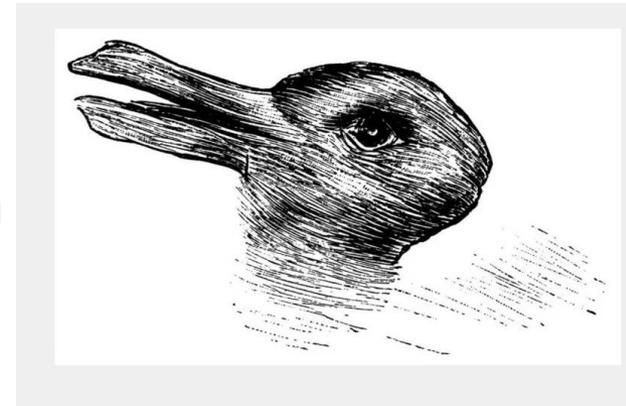


Recommandations à l'usage des maîtres d'ouvrages et des maîtres d'oeuvre

Parement : surface coffrée, visible après achèvement de l'ouvrage



Notion subjective d'appréciation



Parement de qualité :

- **Formulation du béton** (régularité des caractéristiques des constituants)
- **Conditions de réalisation** (coffrage, agent démoulant)

Recommandations à l'usage des maîtres d'ouvrages et des maîtres d'oeuvre

Avec une **codification** de critères
FD P 18-503 : BPE
FD CEN/TR 15739 : produits préfa béton

3 critères pour définir un parement

 **PLANEITE (P)**

 **TEXTURE (E (X-Y-Z))**

 **TEINTE (T)**

normalisation
française

ISSN 0335-3931

FD P 18-503

Juin 2021

Indice de classement : P 18-503

ICS : 91.100.30

Surfaces et parements de béton —
Éléments d'identification

E : Concrete surfaces and facings
D : Betonflächen und -verkleidung

**Nouvelle
version à venir**

Fascicule de documentation

normalisation
française

FD CEN/TR 15739

Février 2010

P 19-852

Produits préfabriqués en béton

Surfaces et parements de béton

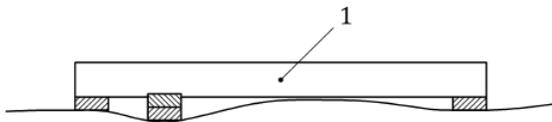
Éléments d'identification

Recommandations à l'usage des maîtres d'ouvrages et des maîtres d'oeuvre

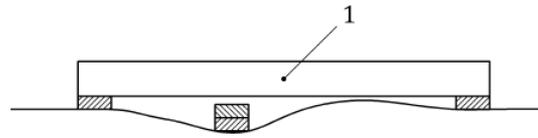
PLANEITE (P)

Critère de flèche maximale

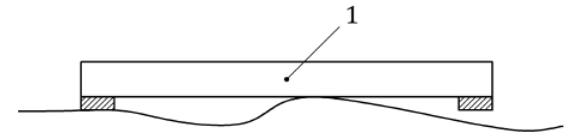
- **Planéité globale** : mesurée avec une règle de 2 m
- **Planéité locale** : mesurée avec un réglet de 20 cm



a) Ouvrage conforme, pas de point de contact et les cales ne passent pas sous la règle



b) Ouvrage non conforme, flèche supérieure à la tolérance



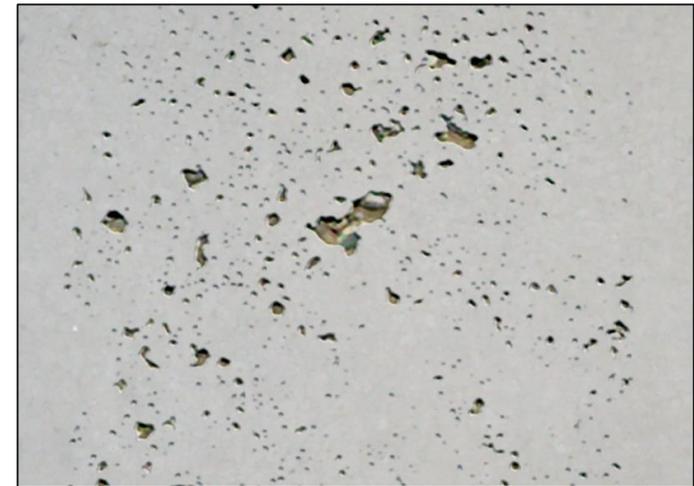
c) Ouvrage non conforme, bosse supérieure à la tolérance

Recommandations à l'usage des maîtres d'ouvrages et des maîtres d'oeuvre

TEXTURE (E (X-Y-Z))

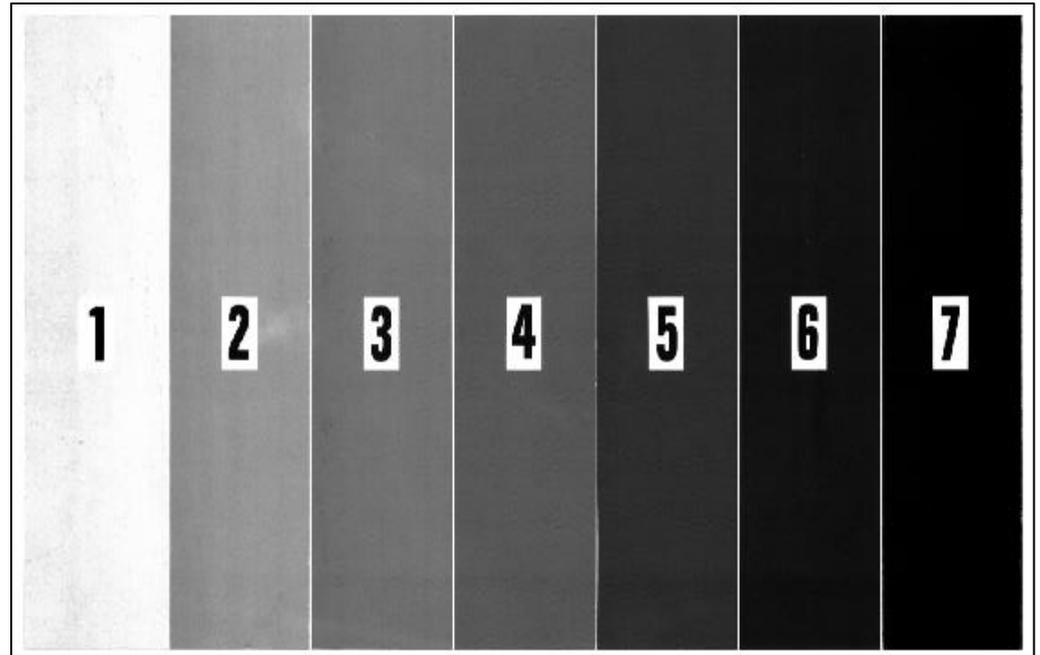
3 sous-classes permettant de distinguer

- Aspect général : **BULLAGE MOYEN (X)** sur l'ensemble de la surface considérée
- Les zones de **BULLAGE CONCENTRE (Y)** (nuages de bulles)
- Les **défauts localisés (Z)**



TEINTE (T)

**Évaluée sur la base
d'une appréciation sur
une échelle de gris
(7 niveaux)**



Recommandations à l'usage des maîtres d'ouvrages et des maîtres d'oeuvre

CODIFICATION DES TROIS CRITERES (P, E(X-Y-Z), T)

Pour chacun des critères, ces lettres sont suivies d'un (cas de P et T) ou **trois** (cas de E) **chiffre(s) allant de 0 à 4**, correspondant à des **niveaux croissants d'exigence**.



0 : Critère (ou la sous classe) correspondant n'est pas pris en considération



1-2-3 : Exigences codifiées



4 : Exigence non décrite dans le FD P 18-503 et spécifiée dans le cadre du marché

Note: Les parements architectoniques sont concernés par le niveau 4.

Recommandations à l'usage des maîtres d'ouvrages et des maîtres d'oeuvre

LES PAREMENTS AU SENS DU FASCICULE 65

Les surfaces de béton sont classées en trois catégories :

- les surfaces coffrées de béton qui sont laissées brutes de décoffrage ou destinées à ne recevoir qu'une lasure transparente qui laisse apparaître la texture et le degré d'homogénéité de teinte et qui sont soumises à des exigences portant sur l'aspect. Ces surfaces sont dénommées parements ;
- les autres surfaces coffrées, qui ne sont soumises qu'à des exigences de texture et de précision dimensionnelle. Ces surfaces sont appelées parois. Ce peut être par exemple le cas de faces internes de certaines structures (poutres-caissons, silos, aéroréfrigérants) ;
- les surfaces non coffrées qui peuvent être soumises ou non à des exigences particulières portant par exemple sur l'aspect ou la texture.

Sauf disposition différente du marché, les surfaces de béton visibles du public sont classées dans la première catégorie.

Dans le cas où le marché prévoit de réaliser des parements avec des surfaces non coffrées (cf 8.4.1.3), des essais de convenance sont nécessaires.

Extrait du Fascicule 65 au sens du CCTG 2017

Recommandations à l'usage des maîtres d'ouvrages et des maîtres d'oeuvre

LES PAREMENTS AU SENS DU FASCICULE 65

Parements SIMPLES : bruts de décoffrage, exigence de régularité générale et exigences sur P, E et T

Parements FINS : bruts de décoffrage, exigence de régularité générale et exigences sur P, E et T

Parements OUVRAGÉS : bruts de décoffrage ou pas, exigences d'ordre décoratif définies par le marché

Extrait du Fascicule 65 au sens du CCTG 2017

NOTE Les parements simples doivent constituer le cas le plus fréquent. En particulier, l'obtention de parements fins entraîne des sujétions souvent coûteuses.

NOTE L'enlèvement de matière peut apporter dans certains cas une altération de la durabilité esthétique. L'enlèvement de matière ne peut être envisagé que dans les limites prévues à la conception du projet.

NOTE La classification de l'annexe informative F de la norme NF EN 13670/CN ne s'applique pas.

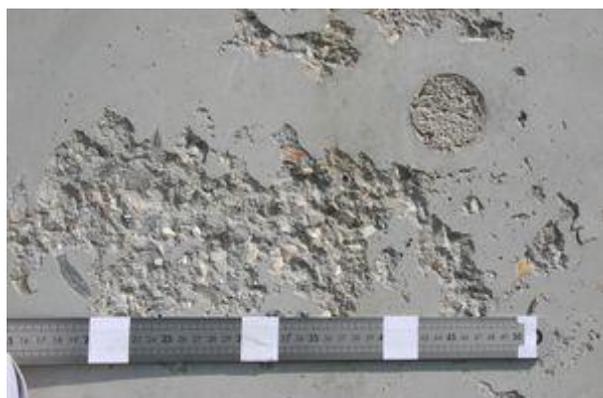
Le marché précise à quelles classes appartiennent les parements. En l'absence de précision, les parements sont réputés parements simples.

Recommandations à l'usage des maîtres d'ouvrages et des maîtres d'oeuvre

LES PAREMENTS AU SENS DU FASCICULE 65

Exigences **générales** (pour tous les parements)

Absence de nids de cailloux, ressuage, écaillage, fuites de laitance, balèvre, arrachement de la peau du béton, épaufrure, faïençage, microfissuration étendue, tâche de rouille



Recommandations à l'usage des maîtres d'ouvrages et des maîtres d'oeuvre

NIVEAUX DE CODIFICATION (FD P 18-503)

PLANEITE (2 critères)

- **P(1)** : 15 mm – 6 mm
- **P(2)** : 8 mm – 3 mm
- **P(3)** : 5 mm – 2 mm

	Fascicule 65	NF DTU 21
P(1)		Ordinaire
P(2)	Simple	Courants
P(3)	Fins	Soignés

TEXTURE (3 sous-classes X, Y, Z)

Bullage moyen (X)

- **X(1)** – surface maximale par bulle 3 cm², profondeur 5 mm, et surface du bullage 10 %
- **X(2)** – surface maximale par bulle 1,5 cm², profondeur 3 mm, et surface du bullage 3 %
- **X(3)** – surface maximale par bulle 0,3 cm², profondeur 2 mm, et surface du bullage 2 %

	Fascicule 65	NF DTU 21
X(1)		Ordinaires ou Courants
X(2)	Simple	Soignés
X(3)	Fins	

NIVEAUX DE CODIFICATION (FD P 18-503)

TEXTURE (suite)

Bullage concentré (Y)

- Y(1) – 25 %
- Y(2) – 10 %
- Y(3) – 5 %

	Fascicule 65	NF DTU 21
Y(1)		Ordinaires ou Courants
Y(2)	Simple	Soignés
Y(3)	Fins	Soignés

Défaut localisé (Z) surface maximale (cm²) (coefficient (Z) * distance d'observation)

- Z(1) – 5
- Z(2) – 4
- Z(3) – 3



**Distance d'observation = DPM
(par défaut 10 m)**

Recommandations à l'usage des maîtres d'ouvrages et des maîtres d'oeuvre

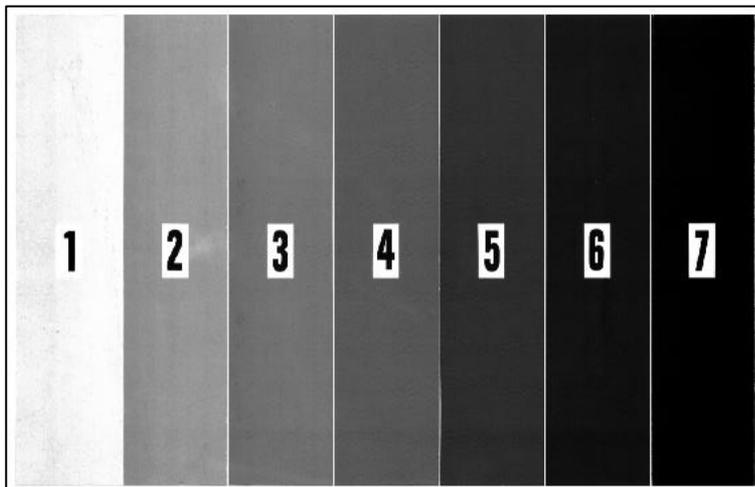
NIVEAUX DE CODIFICATION (FD P 18-503)

TEINTE (3 sous-classes)

Ecarts admis sur l'échelle de gris entre deux zones adjacentes de teintes différentes et deux zones éloignées de teintes extrêmes

- T(1) – 3 (adjacentes) – 4 (éloignées)
- T(2) – 2 (adjacentes) – 3 (éloignées)
- T(3) – 1 (adjacentes) – 2 (éloignées)

Fascicule 65	
T(1)	
T(2)	Simple
T(3)	Fins



Exemple : Parement **FIN** du fascicule 65
P(3), E(3-3-3), T(3)

BULLAGE



Causes de son apparition

Produit de décoffrage

Le passage en solution d'une partie même infime du produit de décoffrage favorise l'adhérence des bulles d'air au coffrage.

Coffrage

La conception du coffrage peut être telle que les bulles d'air qui remontent restent piégées (coffrages en encorbellement), ce qui donne de grands bullages au décoffrage.

Mise en œuvre

Plus la hauteur de chute du béton est importante, plus il y aura d'air entraîné dans le béton et plus le risque de bullage sera élevé.

Le déversement du béton le long des coffrages peut provoquer le passage en solution d'une partie du produit de décoffrage (voir ci-dessus).

Un vibreur enfoncé lentement dans une couche trop épaisse de béton peut provoquer la compaction de la partie supérieure de la couche avant que les bulles de la partie inférieure n'aient eu le temps de s'échapper.

Vibration

Une vibration insuffisante ne permet pas d'éliminer la quantité d'air nécessaire pour éviter le bullage.

La solution n'est pas la vibration excessive, car si dans un premier temps elle permet d'éliminer les bulles, elle conduit ensuite à un recyclage de l'air et donc à nouveau à du bullage.

Extrait Info ciments : Facteurs influençant la teinte des parements

Tableau n° 2 : incidence des paramètres de formulation et de mise en œuvre sur la clarté des bétons

	<i>Plus clair</i>	<i>Plus foncé</i>
<i>Ciment Portland</i>	<i>Teneur en oxyde de fer faible</i>	<i>Teneur en oxyde de fer élevée</i>
<i>Ciment à base de laitier de haut fourneau</i>	<i>Teneur en laitier élevée</i>	<i>Teneur en laitier faible</i>
<i>Rapport eau/ciment</i>	<i>Élevé</i>	<i>Faible</i>
<i>Matériau de coffrage</i>	<i>Peu absorbant</i>	<i>Très absorbant</i>
<i>Surface de coffrage</i>	<i>Lisse</i>	<i>Rugueuse</i>
<i>Temps de décoffrage</i>	<i>Court</i>	<i>Long</i>
<i>Âge du béton</i>	<i>Jeune</i>	<i>Âgé</i>

Tableau n° 4 : teintes des granulats en fonction de leur nature minéralogique

<i>Nature minéralogique des granulats</i>	<i>Teintes</i>
Calcaires durs	Noir, bleu, rose, beige, blanc, vert
Granites	jaune, rose, gris, vert
Basaltes	Noir ou bleu-noir
Grès	Gris, rouge, beige
Diorites	Bleu ou rose
Quartzites	Rose, gris, blanc
Silex	Beige ou bistre

Tableau n° 5: récapitulation des paramètres à maîtriser

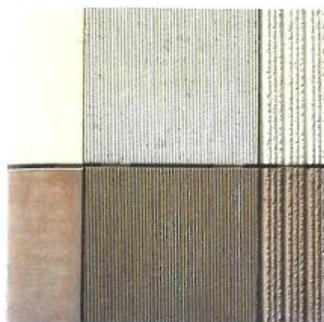
<p>Formulation du béton</p>	<p>Choix des constituants Conformité aux normes de référence Nature et couleur du ciment Dosage en ciment Rapport E / C et quantité d'eau Dimensions des granulats Couleur des granulats Teneur en fines (quantité minimale à respecter) Adjuvants Pigments de coloration Caractéristiques du béton frais</p>
<p>• Mise en œuvre du béton</p> <p>• Matériel</p> <p>• Mise en œuvre</p>	<p>Régularité de fabrication du béton Consistance du béton frais Temps de transport et d'attente du béton Contrôle de réception Coffrage – structure coffrante Nature de la peau coffrante Porosité du coffrage Moules et matrices de coffrage Produits démoulants Méthode de mise en œuvre : pompage, benne... Qualité de la mise en œuvre Hauteur de chute du béton Méthode de vibration Méthode de cure</p>
<p>Conditions de maturation et de décoffrage</p>	<p>Protection du béton Température Hygrométrie et ventilation Échéance de décoffrage Protection après décoffrage</p>

Prévoir dans les DPM la réalisation d'un élément **TEMOIN**

l'exécution par le titulaire d'un élément témoin (traditionnellement appelé « béton témoin ») si le marché le prévoit, notamment dans le cas où la partie d'ouvrage concernée présente des difficultés de mise en place du béton pouvant faire redouter des défauts structuraux ou d'aspect. L'exécution d'un élément témoin est requise dans le cas des parements fins ou ouvragés (cf 8.8.4.1). Les dispositions de mise en œuvre doivent être représentatives de celles prévues pour la construction de la partie d'ouvrage concernée.

Extrait du Fascicule 65 au sens du CCTG 2017

LE CHAMPS DES POSSIBLES



2.2.2



2.2.3



2.2.6



2.2.7

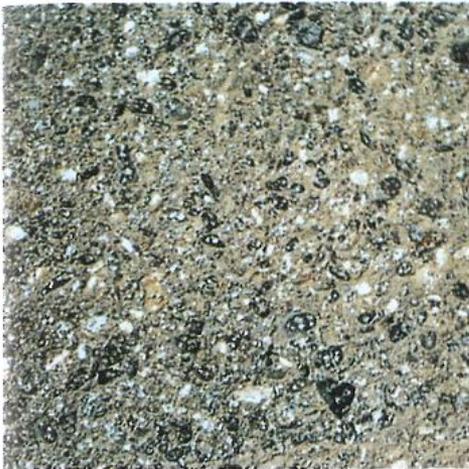


Recommandations à l'usage des maîtres d'ouvrages et des maîtres d'oeuvre

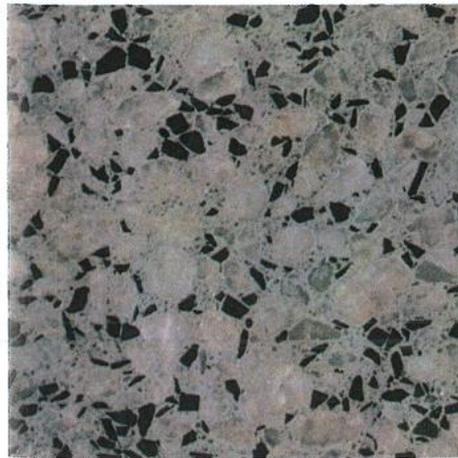
LE CHAMPS DES POSSIBLES

Les traitements des surfaces

- A la main : brochage, piquage, bouchardage, surfaçage
- Mécaniques : fraisage, ponçage, polissage
- Techniques : sablage, désactivation



« bouchardée »



« poncée »



« sablée »

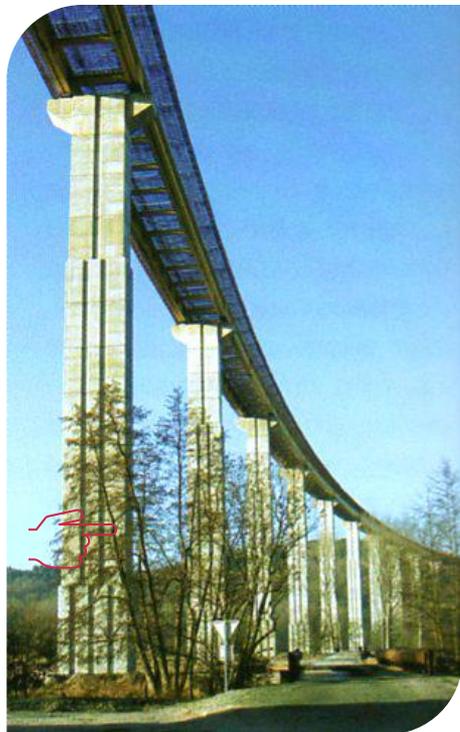
Recommandations à l'usage des maîtres d'ouvrages et des maîtres d'oeuvre

**Merci de
votre
attention**

CHOIX DES CLASSES D'EXPOSITION SELON LA NORME NF EN 206+A2/CN



Recommandations à l'usage des maîtres d'ouvrages et des maîtres d'oeuvre



Pour chaque partie d'ouvrage en béton il est nécessaire de prendre en compte son **environnement** (géographique, climatique...), **sa destination** (pont routier, bassin...) **et ses conditions d'exploitation** pendant la durée totale d'utilisation attendue.

On va pouvoir ainsi définir les classes d'exposition permettant aux bétons mis en œuvre de mieux résister aux différentes agressions identifiées :

- ❖ Localisation de l'ouvrage. Exemples :
 - montagne (risques hivernaux),
 - bord de mer (résistance aux chlores)
 - ...
- ❖ Fondations de l'ouvrage : agressivité chimique des sols et des eaux souterraines éventuelles. Ces analyses doivent être incluse aux pièces de l'Appel d'Offre
- ❖ Usage plus ou moins fréquent de sels de déverglaçage en phase exploitation
- ❖ Etc...

Le choix des classes d'exposition de chaque partie d'ouvrage est de la responsabilité du maître d'ouvrage.

Ces classes d'exposition pour chaque partie d'ouvrage doivent être prescrites dans le CCTP par son rédacteur.

Recommandations à l'usage des maîtres d'ouvrages et des maîtres d'oeuvre

La classe d'exposition a une forte incidence sur :

Le béton

- Le choix des constituants (ciment, granulats, additions, adjuvants)
- Le dosage en ciment (ou en liant équivalent) et le rapport E/C (Eau efficace / Liant eq.)
- Sa classe de résistance



L'enrobage et le dimensionnement des armatures

Nota : Les agressions peuvent être différentes d'une face à l'autre d'un élément béton. Il convient de choisir :

- ❖ *La classe d'exposition la plus protectrice pour le béton mis en oeuvre*
- ❖ *La classe d'exposition différenciée pour chaque face d'un élément pour le calcul des enrobages*



Recommandations à l'usage des maîtres d'ouvrages et des maîtres d'oeuvre

DEFINITION DES CLASSES D'EXPOSITION

Les classes d'expositions traduisent l'influence de l'environnement sur les bétons de l'ouvrage, mais aussi sur l'ouvrage lui-même, via une potentielle dégradation des armatures.

Deux types d'agressions peuvent ainsi être distingués :

- Les **attaques sur le matériau béton**,
- Les **agressions sur les armatures du béton**.



Cette partie ne traite que des classes d'exposition définies par la norme NF EN 206+A2/CN.

**Les classes XH et XAR sont traitées respectivement
dans les recommandations relatives à la RSI et à la RAG.**

Recommandations à l'usage des maîtres d'ouvrages et des maîtres d'oeuvre

DEFINITION DES CLASSES D'EXPOSITION

Classes concernant les attaques du matériau béton :

- X0** Béton non armé ne subissant aucune agression
- XF** Béton exposé, soumis à des cycles gel/dégel
- XA** Béton soumis à des attaques chimiques

DEFINITION DES CLASSES D'EXPOSITION

Classes concernant les attaques du matériau béton : **X0** Béton non armé ne subissant aucune agression

Pour le béton non armé et sans pièces métalliques noyées :

- toutes les expositions sauf l'attaque chimique ou le gel-dégel.

Pour le béton armé ou avec des pièces métalliques : en milieu très sec.

Nota : Un béton est réputé non armé au sens de la classe X0, s'il ne contient aucune armature ou s'il est faiblement armé avec un enrobage d'au moins 5 centimètres.



Recommandations à l'usage des maîtres d'ouvrages et des maîtres d'oeuvre

DEFINITION DES CLASSES D'EXPOSITION

Classes concernant les attaques du matériau béton : **XF** Béton soumis à des cycles gel/dégel

En France, le choix de la classe d'exposition au gel-dégel est déterminé

- Par rapport à l'intensité de gel et à la fréquence de salage

Et non par l'état de saturation du béton (version EU)

Tableau NA.1 — Classes d'expositions en fonction de l'intensité du gel et de la fréquence de salage

Gel \ Salage	Aucun	Peu fréquent	Fréquent	Très fréquent
Faible ou modéré	XF1	XF1	XF2	XF2 ^a
Sévère	XF3	XF3	XF4	XF4

^a À l'exception des chaussées en béton et des éléments d'ouvrages d'art très exposés qui seront classés en XF4.

Recommandations à l'usage des maîtres d'ouvrages et des maîtres d'oeuvre

DEFINITION DES CLASSES D'EXPOSITION

Classes concernant les attaques du matériau béton : **XF** Béton soumis à des cycles gel/dégel

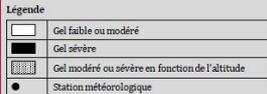
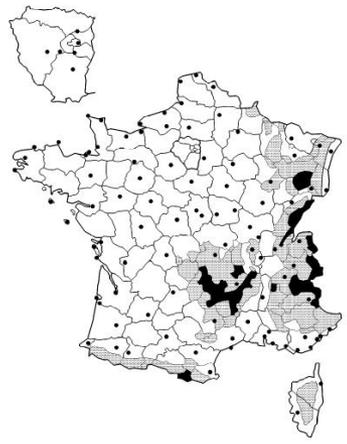


Figure NA.2 — Carte des zones de gel en France

Les niveaux de gel sont définis dans le Fascicule de Documentation FD P 18-326

La carte de la norme NF EN 206/CN donne une indication du niveau de salage recommandé, mais il conviendra de prendre en compte les pratiques réelles.

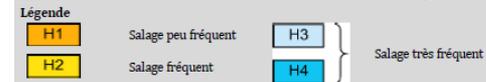
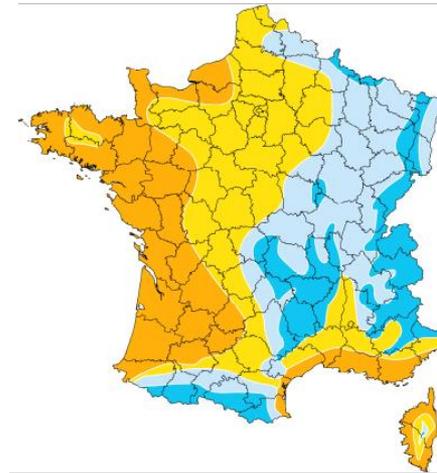


Figure NA.3 — Carte des zones de salage en France

Peu fréquent :
- de 10 jours de salage
Très fréquent
+ 30 jours de salage
« fréquent »
entre ces deux cas

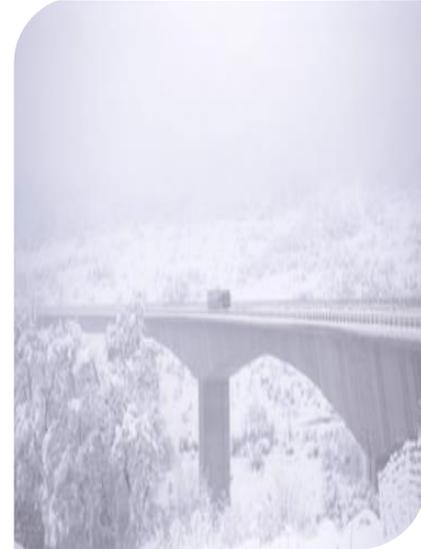
Recommandations à l'usage des maîtres d'ouvrages et des maîtres d'oeuvre

DEFINITION DES CLASSES D'EXPOSITION

Classes concernant les attaques du matériau béton : **XF** Béton soumis à des cycles gel/dégel

Dans le cas d'ouvrages d'art, l'appréciation du salage se réfère à la voie franchie par l'ouvrage sauf :

- pour les dalles de transition, solins de joints de dilatation, barrières de sécurité en béton, longrines d'ancrage, massifs d'ancrage d'équipements et garde-corps en béton où on l'apprécie **par rapport à la voie portée**,
- pour les corniches et corniches caniveaux où on l'apprécie à la fois **par rapport à la voie portée et à la voie franchie**.



Note : Pour des ouvrages particuliers, des prescriptions complémentaires peuvent être trouvée dans la recommandation « prescriptions complémentaires vis-à-vis de la durabilité au gel »

Recommandations à l'usage des maîtres d'ouvrages et des maîtres d'oeuvre

DEFINITION DES CLASSES D'EXPOSITION

Classes concernant les attaques du matériau béton : **XA** Béton soumis à des attaques chimiques

Le Fascicule de Documentation FD P 18-011

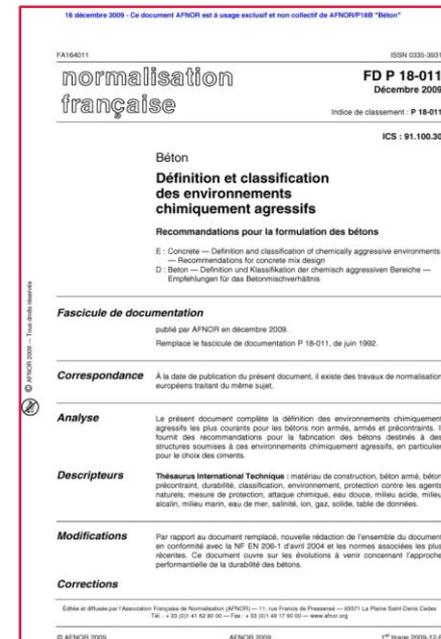
« *Bétons – Définitions et classification des environnements chimiquement agressifs - Recommandations pour la formulation des bétons* » donne les règles de classification de ces environnements.

Le choix de la classe se fait par rapport à la caractéristique chimique correspondant à l'agression la plus élevée.

La norme NF EN 206/CN définit 3 classes d'exposition correspondant à 3 niveaux d'agressivité chimique :

- **XA1** Environnement à faible agressivité chimique
- **XA2** Environnement d'agressivité chimique modérée
- **XA3** Environnement à forte agressivité chimique

Recommandations à l'usage des maîtres d'ouvrages et des maîtres d'oeuvre



DEFINITION DES CLASSES D'EXPOSITION

Classes concernant les attaques du matériau béton : **XA** Béton soumis à des attaques chimiques

Agressivité chimique liée aux eaux et autres effluents

Pour les parties d'ouvrages en contact avec la nappe, la détermination de la classe d'exposition se fait à partir de l'analyse de l'eau souterraine

Agressivité chimique liée aux sols hors présence de la nappe

Pour les parties d'ouvrages enterrés hors présence de la nappe, la détermination de la classe d'exposition se fait à partir de l'analyse du sol.

Agressivité chimique liée aux gaz

Nota : si le degré d'agressivité des solutions, des sols et des gaz dépasse les concentrations de la classe XA3, il est nécessaire de prévoir une protection externe (enduits, revêtements) ou interne (imprégnation).

Recommandations à l'usage des maîtres d'ouvrages et des maîtres d'oeuvre

DEFINITION DES CLASSES D'EXPOSITION

Classes concernant **l'agression des armatures** :

- XC** Béton soumis à la carbonatation
- XS** Corrosion induite par les chlorures présents dans l'eau de mer
- XD** Corrosion induite par des chlorures ayant une origine autre que marine

Recommandations à l'usage des maîtres d'ouvrages et des maîtres d'oeuvre

DEFINITION DES CLASSES D'EXPOSITION

Classes concernant l'agression des armatures: **XC** Corrosion par carbonatation

XC1 : les parties d'ouvrages à l'abri de la pluie. C'est le cas notamment des bétons en intérieur des bâtiments ;

XC2 : les parties d'ouvrages au contact de l'eau à long terme. C'est le cas notamment des fondations en zone humide, des réservoirs, etc. ;

XC3 : les parties d'ouvrages à l'abri de la pluie mais non closes, ou exposées à des condensations importantes à la fois par leur fréquence et leur durée ;

XC4 : les parties aériennes d'ouvrages d'art et les parties extérieures des bâtiments non protégées de la pluie, comme par exemple les façades, les pignons et les parties saillantes à l'extérieur



CLASSES D'EXPOSITION	DESCRIPTION DE L'ENVIRONNEMENT
XC1	Sec ou Humide en permanence
XC2	Humide, rarement sec
XC3	Humidité modérée
XC4	Alternance d'humidité et de séchage

Recommandations à l'usage des maîtres d'ouvrages et des maîtres d'oeuvre

DEFINITION DES CLASSES D'EXPOSITION

Classes concernant l'agression des armatures:

XS Corrosion induite par les chlorures présents dans l'eau de mer *

XD Corrosion induite par des chlorures ayant une origine autre que marine *

* Nouvelles sous-classes pour l'approche performantielle : XD3f & XD3tf ; XS3m & XS3e

Non exposés aux embruns mais directement exposés à l'air salin - En général situés à moins de 1 km de la côte

CLASSES D'EXPOSITION	DESCRIPTION DE L'ENVIRONNEMENT
XS1	Exposé à l'air véhiculant du sel marin, mais pas en contact direct avec l'eau de mer
XS2	Immergé en permanence
XS3	Zones de marnage soumises à des projections ou à des embruns
XD1	Humidité modérée
XD2	Humide, rarement sec
XD3	Alternance d'humidité et de séchage



En général situés à moins de 100 m de la côte

Recommandations à l'usage des maîtres d'ouvrages et des maîtres d'oeuvre

DEFINITION DES CLASSES D'EXPOSITION

Classes concernant l'agression des armatures:

XS Corrosion induite par les chlorures présents dans l'eau de mer *

XD Corrosion induite par des chlorures ayant une origine autre que marine *

* Nouvelles sous-classes pour l'approche performantielle : XD3f & XD3tf ; XS3m & XS3e

Les classes XS2 et XS3 couvrent l'attaque chimique du béton par l'eau de mer par l'imposition d'un ciment de **caractéristique complémentaire PM**.

Les éléments en béton non armé (habituellement classés en X0) situés en zone de marnage et/ou exposés aux embruns (<100 m de la côte) sont à classer en XA1 pour prendre en compte l'agressivité chimique de l'eau de mer.

Recommandations à l'usage des maîtres d'ouvrages et des maîtres d'oeuvre

IMPACT DU CHOIX DE LA CLASSE D'EXPOSITION SUR LE CHOIX DES MATERIAUX

CHOIX DES CIMENTS

- **Classes XA : Attaques chimiques**

- Une recommandation pour le choix des ciments et des additions éventuelles est donnée dans le Fascicule de Documentation FD P 18-011 « *Bétons – Définitions et classification des environnements chimiquement agressifs - Recommandations pour la formulation des bétons* ».



- **Classes XF : Attaque gel/dégel**

- Pour la classe XF4 (et pour la classe XD3 si celle-ci provient de l'utilisation d'un sel de déverglçage), utiliser un ciment SR conforme à la NF EN 197-1 (+ caractéristiques complémentaires Françaises) ou un ciment conforme à la norme NF P 15-317 (PM) ou à la norme NF P 15-319 (ES).

- **Classes XS : Corrosion induite par les chlorures présents dans l'eau de mer**

- Pour les classes XS2 et XS3 utiliser un ciment PM.

Recommandations à l'usage des maîtres d'ouvrages et des maîtres d'oeuvre

IMPACT DU CHOIX DE LA CLASSE D'EXPOSITION SUR LE CHOIX DES MATERIAUX

CHOIX DES GRANULATS

Pour les bétons XF4 et XA3 les granulats doivent :

- présenter une absorption d'eau* (WA24 pour les gravillons, Ab pour les sables) indiquée A (< 2,5 %),
- autres caractéristiques au minimum indiquées B.



Pour les classes XF3 et XF4, les granulats doivent :

- être non gélifs au sens de la norme NF P 18-545.



** L'attention du rédacteur du CCTP est attirée sur la disponibilité locale du granulat qui doit être vérifiée*



CHOIX DES ADDITIONS

Taux de substitution défini par tableaux NA.F1, NA.F2, NA.F3 et NA.F4 de la norme NF EN 206+A2/CN.

Recommandations à l'usage des maîtres d'ouvrages et des maîtres d'oeuvre

LE ROLE DES CLASSES D'EXPOSITION

Incidence de la classe d'exposition sur la composition du béton:
Les tableaux NA F de la norme NF EN 206+A2/CN



		CLASSES D'EXPOSITION																	
		Aucun risque de corrosion ou	Corrosion induite par la carbonatation				Corrosion induite par les chlorures						Attaque gel / dégel				Environnements chimiquement agressifs		
							Eau de mer			Autres que l'eau de mer									
X0	XC1	XC2	XC3	XC4	XS1	XS2	XS3	XD1	XD2	XD3	XF1	XF2	XF3	XF4	XA1	XA2	XA3		
Rapport E _g /liant éq maximal		-	0,65	0,65	0,60	0,60	0,55	0,55	0,50	0,60	0,55	0,50	0,60	0,55	0,55	0,45	0,55	0,50	0,45
Classe de résistance minimale		-	C20/25	C20/25	C25/30	C25/30	C30/37	C30/37	C35/45	C25/30	C30/37	C35/45	C25/30	C25/30	C30/37	C30/37	C30/37	C35/45	C40/50
Teneur minimale en liant éq (kg/m ³)		150	260	260	280	280	330	330	350	280	330	350	280	300	315	340	330	350	360
Teneur minimale en air (%)		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4	4	-	-	-	-
Essai(s) de performances		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NF P18-425 et	NF P18-425 (ou	NF P18-425 (ou	-	-	-
Combinaison CEM I + addition	Rapport maximal A / (A+C)	Cendres volantes	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30
	Fumées de silice	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10
	Métakaolin type A	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15
	Laitier moulu	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,15	0,30	0,30	0,30
	Addition calcaire catégorie A	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,05	0,05	0,05	0,30	0,05	0,05	0,30	0,25	0,25	0,05	0,00	0,00	0,00
	Addition calcaire catégorie B	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,05	0,05	0,05	0,25	0,05	0,05	0,25	0,25	0,25	0,05	0,00	0,00	0,00
	Addition siliceuse de minéralogie QZ	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,15	0,15	0,15	0,25	0,15	0,15	0,25	0,20	0,20	0,00	0,20	0,20	0,20
Combinaison CEM II/A + addition	Rapport maximal A / (A+C)	Cendres volantes	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,00	0,20	0,20	0,20
	Fumées de silice	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10
	Métakaolin type A	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10
	Laitier moulu	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,00	0,20	0,20	0,20
	Addition calcaire catégorie A	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,00	0,00	0,00	0,10	0,00	0,00	0,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Addition siliceuse de minéralogie QZ	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Nature du ciment	-	-	-	-	-	-	PM	PM	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Recommandations à l'usage des maîtres d'ouvrages et des maîtres d'oeuvre

LE ROLE DES CLASSES D'EXPOSITION

Incidence de la classe d'exposition sur la composition du béton:

Les tableaux NA F de la norme NF EN 206+A2/CN



		CLASSE D'EXPOSITION								
		Aucun risque de corrosion ou X0	Corrosion induite par la carbonatation				Corrosion induite par les chlorures			
			XC1	XC2	XC3	XC4	Eau de mer		Autres que	
						XS1	XS2	XS3	XD1	
Combinaison CEM I + addition	Rapport maximal A / (A+C)	-	0,65	0,65	0,60	0,60	0,55	0,55	0,50	0,60
	Classe de résistance minimale	-	C20/25	C20/25	C25/30	C25/30	C30/37	C30/37	C35/45	C25/30
	Teneur minimale en liant éq (kg/m ³)	150	260	260	280	280	330	330	350	280
	Teneur minimale en air (%)	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Essai(s) de performances	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Cendres volantes	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30
	Fumées de silice	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10
Combinaison CEM II/A + addition	Rapport maximal A / (A+C)	-	0,65	0,65	0,60	0,60	0,55	0,55	0,50	0,60
	Classe de résistance minimale	-	C20/25	C20/25	C25/30	C25/30	C30/37	C30/37	C35/45	C25/30
	Teneur minimale en liant éq (kg/m ³)	150	260	260	280	280	330	330	350	280
	Teneur minimale en air (%)	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Essai(s) de performances	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Cendres volantes	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20
	Fumées de silice	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10
Métakaolin type A	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	
Laitier moulu	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	
Addition calcaire catégorie A	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,00	0,00	0,00	0,10	
Addition siliceuse de minéralogie QZ	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Nature du ciment	-	-	-	-	-	-	PM	PM	-	

Recommandations à l'usage des maîtres d'ouvrages et des maîtres d'oeuvre

**Merci de
votre
attention**

ATTAQUES CHIMIQUES

POINTS ABORDES :

- Types d'environnements chimiquement agressifs
- Principes de prévention
- NF EN 206+A2/CN et FD P 18-011 et leurs évolutions

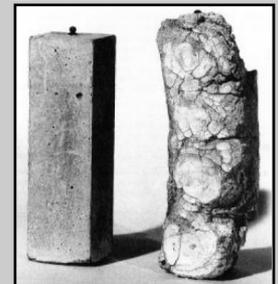
- **Atmosphères** humides acides concentrées en SO_3 et H_2S (acide sulfurique)
- **Sols**
 - acides
 - concentrés en sulfates (SO_4^{2-})
- **Eaux de surface**
 - Faiblement minéralisées ou acides
 - Concentrées en sulfates (SO_4^{2-}), en magnésium (Mg^{2+})

PATHOLOGIES POSSIBLES :

- Perte de matière par dissolution du béton (attaque acide)



- Risques de gonflement du béton (ex: si SO_4^{2-}), gonflement



- Perte de la cohésion du béton (si Mg^{2+})

Recommandations à l'usage des maîtres d'ouvrages et des maîtres d'oeuvre

MILIEUX CHIMIQUEMENT AGRESSIFS

Catégorisation de l'agressivité chimique du milieu
qui sera en contact avec la partie d'ouvrage en béton

+ collecte des données pour le définir



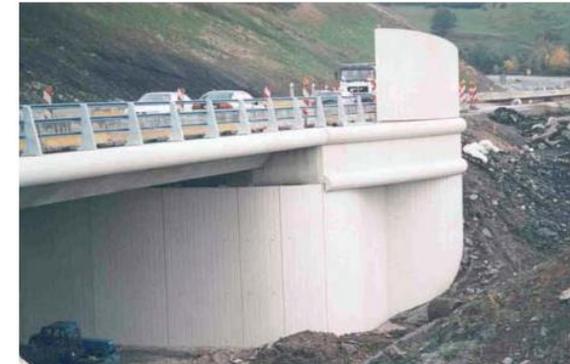
Responsabilité du Maître d'Ouvrage

Critères de définition

→ Norme NF EN 206+A2/CN: 2022 (tableau 2)

+ Fascicule FD P 18-011: 2022 (tableau 1)

(les deux documents sont indissociables)



Recommandations à l'usage des maîtres d'ouvrages et des maîtres d'oeuvre

AGRESSIVITE DES EAUX



Analyse à fournir pour le marché

Agent agressif	Norme d'essai	Classe d'agressivité selon NF EN 206/CN		
		XA1	XA2	XA3
CO ₂ agressif (mg/l)	NF EN 13577	≥ 15 et ≤ 40	> 40 et ≤ 100	>100 Jusqu'à saturation
SO ₄ ²⁻ (mg/l)	NF EN 196-2	≥ 200 et ≤ 600	> 600 et ≤ 3 000	> 3 000 et ≤ 6 000
Mg ²⁺ (mg/l)	NF EN ISO 7980	≥ 300 et ≤ 1 000	> 1 000 et ≤ 3 000	> 3 000 Jusqu'à saturation
NH ₄ ⁺ (mg/l)	ISO 7150-1 ou ISO 7150-2	≥ 15 et ≤ 30	> 30 et ≤ 60	> 50 et ≤ 100
pH	NF T 90-008	≤ 6,5 et ≥ 5,5	< 5,5 et ≥ 4,5	< 4,5 et ≥ 4,0
TAC (mé/l)	NF EN ISO 9963-1 et NF EN ISO 9963-2	≤ 1,0 et ≥ 0,4	< 0,4 et ≥ 0,1	< 0,1

Recommandations à l'usage des maîtres d'ouvrages et des maîtres d'oeuvre

CRITERES DE CATEGORISATION DES SOLS

AGRESSIVITE DES SOLS



Analyse à fournir pour le marché

Agent agressif	Norme d'essai	Classe d'agressivité selon NF EN 206/CN		
		XA1	XA2	XA3
SO ₄ ²⁻ (mg/kg de sol séché à 105 °C ± 5 °C)	NF EN 196-2	≥ 2 000 et ≤ 3 000	> 3 000 et ≤ 12 000	> 12 000 et ≤ 24 000
Degré d'acidité	Annexe A	> 200	-	-

Recommandations à l'usage des maîtres d'ouvrages et des maîtres d'oeuvre

POUR LES AUTRES MILIEUX

Pour les autres milieux pouvant présenter un risque d'agression chimique pour les bétons, on peut se référer à une nouvelle annexe :

ANNEXE A du fascicule FD P 18-011 :
« Substances exerçant une action chimique sur les bétons »

Source : Bulletin du ciment, No 11, Novembre 1995, 63^{ème} année.

PRINCIPE DE PRÉVENTION DES DÉSORDRES

FORMULATION DU BETON (Cf. slide suivant)

CONDITIONS D'EXECUTION



Application des règles habituelles (NF EN 13670 pour béton coulé en place, NF EN 13369 pour produits en béton). Attention particulière pour la cure.

ENROBAGE (si béton armé ou avec inclusions métalliques),



Appliquer les règles d'enrobage pour les classes d'exposition concomitantes XC ou XD.

Recommandations à l'usage des maîtres d'ouvrages et des maîtres d'oeuvre

FORMULATION DU BETON

Compacité supérieure aux bétons courants



Limitation du rapport massique Eau efficace / Liant équivalent, respect de la classe de résistance minimale

(Cf. Tableaux Annexe NA.F.)

Extrait Tableau NA.F1:

	XA1	XA2	XA3
Rapport E_{eff}/L_{eq} maximal c)	0,55	0,50	0,45
Classe de résistance minimale	C30/37	C35/45	C40/50
Teneur mini en L_{eq} (kg/m ³) c) d)	330	350	360

Liant chimiquement résistant



Cf. Tableaux 2a, 2b et 2c du Fascicule FD P 18-011 + sections afférentes.

Recommandations à l'usage des maîtres d'ouvrages et des maîtres d'oeuvre

EVOLUTION DU FD P 18-011

FD P 18-011: 2022

FD P 18-011: 2016



Tableau 2 :
*Choix des ciments
en fonction du milieu*

Tableau 2A : Choix des ciments en fonction du milieu

**Tableau 2B : Choix des additions en fonction du milieu
pour un ciment PM, ES ou SR**

**Tableau 2C — Choix des combinaisons (ciment +
addition(s))
en fonction du milieu**

+ approche **béton d'ingénierie** (respect des exigences
norme §NA.3.1.1.21 et NA.6.5 de la NF EN 206+A2/CN)

Recommandations à l'usage des maîtres d'ouvrages et des maîtres d'oeuvre

FD P 18-011 – TABLEAU 2A

Tableau 2A — Choix des ciments en fonction du milieu

Milieu	Classe	Dispositions concernant le ciment ^b
Milieu contenant des sulfates (solutions) à l'exclusion de l'eau de mer	XA1	Pas de recommandations particulières, les préconisations de la NF EN 206+A2/CN s'appliquent
	XA2 (600 < x < 1 500 mg/l)	ciments SR conformes à la norme NF EN 197-1 et aux exigences complémentaires données en 6.3 ciments conformes à la norme NF P 15-317 (PM) ciments conformes à la norme NF P 15-319 (ES) SSC CAC
	XA2 (1 500 < x < 3000 mg/l)	ciments SR conformes à la norme NF EN 197-1 et aux exigences complémentaires données en 6.3 ciments conformes à la norme NF P 15-319 (ES) SSC CAC
	XA3	ciments SR conformes à la norme NF EN 197-1 et aux exigences complémentaires données en 6.3 ciments conformes à la norme NF P 15-319 (ES) SSC CAC
Milieu contenant des sulfates (sols)	XA1	Pas de recommandations particulières, les préconisations de la NF EN 206+A2/CN s'appliquent
	XA2	ciments SR conformes à la norme NF EN 197-1 et aux exigences complémentaires données en 6.3 ciments conformes à la norme NF P 15-317 (PM) ciments conformes à la norme NF P 15-319 (ES) SSC CAC
	XA3	ciments SR conformes à la norme NF EN 197-1 et aux exigences complémentaires données en 6.3 ciments conformes à la norme NF P 15-319 (ES) SSC CAC
Milieux acides et eaux pures ^a	XA1	CEM II/B-S CEM II/B-V CEM II/B-P CEM II/B-Q CEM II/B-M(S-V) CEM III/A, B ou C CEM IV/A ou B CEM II/C-M (avec uniquement : S D P Q V) CEM VI (S-P) ou (S-V) ciments SR conformes à la norme NF EN 197-1 et aux exigences complémentaires données en 6.3 ciments conformes à la norme NF P 15-317 (PM) ciments conformes à la norme NF P 15-319 (ES) SSC CAC

Milieu	Classe	Dispositions concernant le ciment ^b
Milieux acides et eaux pures ^a	XA2	CEM II/B-S CEM II/B-V CEM II/B-P CEM II/B-Q CEM II/B-M(S-V) CEM III/A, B ou C CEM IV/B CEM II/C-M (avec uniquement : S D P Q V) CEM VI (S-P) ou (S-V) ciments SR conformes à la norme NF EN 197-1 et aux exigences complémentaires données en 6.3 ^c ciments conformes à la norme NF P 15-319 (ES) SSC CAC
	XA3	CEM III SR ou ES CEM V/A ou B ES CEM IV/ B CEM II/C-M (avec uniquement : D P Q V) SSC CAC

^a En l'absence d'étude spécifique ou de retour d'expérience, les préconisations de choix des ciments pour attaque acide pourraient être retenues pour les attaques par le CO₂ agressif.
Pour les attaques par l'hydrogène sulfuré (H₂S) il est souhaitable d'utiliser des formules bénéficiant d'un retour d'expérience, ou des CAC.

^b Dans le cas d'un mélange de ciments qui ne comporteraient pas les caractéristiques complémentaires requises dans le Tableau 2A (caractéristique PM, ES ou SR), les exigences relatives au type de ciment (Tableau 2A) s'appliquent au mélange des deux ciments de la manière suivante :

- sur la base des compositions déclarées de chacun des deux ciments du mélange et de leur proportion respective, calculer la composition du mélange. Cette composition permet d'établir une équivalence avec un type de ciment ;
- identifier dans les normes des ciments PM, ES ou SR les spécifications chimiques pour le type de ciment dont l'équivalence par mélange de deux ciments est visée ;
- à partir des résultats des analyses chimiques de chacun des ciments, calculer pour le mélange les teneurs de chacun des éléments requis dans les spécifications chimiques et en vérifier le respect.

Le Tableau 2A comporte également des choix de ciments pour lesquels aucune caractéristique complémentaire n'est requise. Dans ce cas précis, l'équivalence d'un mélange de deux ciments peut être établie sur la base de la composition.

^c Dans le cas des eaux pures, l'utilisation de ciment CEM I SR n'est pas recommandée.

- Formalisation de l'introduction des ciments d'aluminates de calcium (CAC) et des ciments sursulfatés (SSC)

- Introduction de certains ciments ternaires NF EN 197-5 pour les milieux acides et eaux pures

Recommandations à l'usage des maîtres d'ouvrages et des maîtres d'oeuvre

FD P 18-011 – TABLEAU 2B

Tableau 2B — Choix des additions en fonction du milieu pour un ciment PM, ES ou SR

Milieu	Classe	Cas d'un ciment PM, ES ou SR avec une addition
Milieu contenant des sulfates (solutions) à l'exclusion de l'eau de mer	XA1	Pas de recommandations particulières, les préconisations de la NF EN 206+A2/CN s'appliquent
	XA2 (600 < x ≤ 1 500 mg/l)	CEM I SR ou PM + (V ou S ou D) CEM I SR ou PM + ≤ 10 % Q(MK) ^b CEM II/A-S PM ou ES + (V ou S ou D ou Q(MK)) CEM II/A-V PM ou ES + (S ou V) CEM II/A-P ES + V CEM II/A-D PM + S
	XA2 (1 500 < x ≤ 3000 mg/l)	CEM I SR + (V ou S ou D) CEM I SR + ≤ 10 % Q(MK) + CEM II/A-V ES + (S ou V) CEM II/A-P ES + V CEM II/A-S ES + (V ou S ou D ou Q (MK))
	XA3	CEM I SR + (V ou S ou D) CEM I SR + ≤ 10 % Q(MK) ^b CEM II/A-V ES + (S ou V) CEM II/A-P ES + V CEM II/A-S ES + (V ou S ou D ou Q (MK))
Milieu contenant des sulfates (sols)	XA1	Pas de recommandations particulières, les préconisations de la NF EN 206+A2/CN s'appliquent
	XA2	CEM I SR ou PM + (V ou S ou D) CEM I SR ou PM + Q(MK) (Q ≤ 10 %) ^b CEM II/A-V PM ou ES + (S ou V) CEM II/A-P ES + V CEM II/A-D PM + S CEM II/A-S PM ou ES + (V ou S ou D ou Q (MK))
	XA3	CEM I SR + (V ou S ou D) CEM I SR + Q(MK) (Q ≤ 10 %) ^b CEM II/A-V ES + (S ou V) CEM II/A-P ES + V CEM II/A-S ES + (V ou S ou D ou Q (MK))
Milieux acides et eaux pures ^a	XA1	CEM I SR ou PM + (V ou S ou D) CEM I SR ou PM + Q(MK) (Q ≤ 10 %) ^b CEM II/A-S PM ou ES + (V ou S ou D ou Q(MK)) CEM II/A-V PM ou ES + (S ou V) CEM II/A-P ES + V CEM II/A-D PM + S
	XA2	CEM I SR + (V ou S ou D) CEM I SR + Q(MK) (Q ≤ 10 %) ^b CEM II/A-V PM ou ES + (S ou V) CEM II/A-P ES + V CEM II/A-S ES + (V ou S ou D ou Q (MK))
	XA3	CEM I SR + S (S du liant total > 60 % avec prise en compte du Leq pour 50 % max) ou CEM II/A-S ES + S (S du liant total > 60 % avec prise en compte du Leq pour 35 % max) CEM I SR + S + V ; (S> 18 % V> 18 %) (avec prise en compte du Leq avec une seule addition) CEM I SR + S + Q(MK) ; (S> 18 % Q > 18 %) (avec prise en compte du Leq avec une seule addition)

^a En l'absence d'étude spécifique ou de retour d'expérience, les préconisations de choix des ciments et additions pour attaques acides pourraient être retenues pour les attaques par le CO₂ agressif.
Pour les attaques par l'hydrogène sulfureux (H₂S) il est souhaitable d'utiliser des formules bénéficiant d'un retour d'expérience, ou des CAC.

^b Pouvant être porté à 20 % (dont 15 % pris en compte dans le calcul du liant équivalent) sous réserve d'un E_{at}/L_{eq} ≤ 0,4.
Des exemples d'utilisation du Tableau 2B sont donnés en Annexe B

Le FD P 18-011 autorise l'emploi d'additions avec des ciments SR, PM ou ES

FD P 18-011 – TABLEAU 2C

En l'absence de ciments PM ou ES ou SR, le FD P 18-011 autorise l'emploi d'additions avec des ciments

→ Recours au Tableau 2C pour la nature du liant + prescriptions supplémentaires.

CONDITIONS D'APPLICATION DU TABLEAU 2C :

- Respect des critères de l'Annexe NA.F de la norme NF EN 206+A2/CN (classe de résistance minimum, teneur en liant équivalent minimum, rapport Eau eff/ Liant éq mini)
- Le béton est considéré comme **Béton d'ingénierie**
→ Respect des exigences §NA.3.1.1.21 et NA.6.5 de la NF EN 206+A2/CN
- **Application de prescriptions supplémentaires** : cf. §6.5 du FD P 18-011
Critères sur le ciment et la combinaison Ciment + Addition en cohérence avec tableau 2A
 - Ciment : Type, certification avec fréquence de contrôles selon Marque NF Liants Hydrauliques ou équivalent, spécifications chimiques
 - Addition : Type, spécifications chimiques,
 - Ciment + addition : spécifications chimiques

Recommandations à l'usage des maîtres d'ouvrages et des maîtres d'oeuvre

FD P 18-011 – Section 7.3 Ouverture à l'approche performantielle

Section 7.3 du Fascicule FD P P18-011 :

Il est possible de recourir à un béton spécialement formulé pour certaines agressions chimiques ne répondant pas strictement aux exigences de formulation mais ayant fait l'objet d'une étude de qualification documentée.

→ Justification de la durabilité du béton sur la base d'un test adapté au milieu considéré (Norme ou mode opératoire issu du projet national PerfDuB).

→ Application des conditions générales de l'approche performantielle :

Cf. §5.3 de la NF EN 206+A2/CN + Fascicule de document FD P 18-480.

Désignation spécifique du béton + accord préalable des parties prenantes + exigence « Qualité » spécifiques en phase d'étude, de convenance et de production (cf. Fiche et présentation dédiées)

Recommandations à l'usage des maîtres d'ouvrages et des maîtres d'oeuvre

CE QU'IL FAUT RETENIR ...



La prescription de la classe d'exposition est de la responsabilité du MOA

- Recourir à la norme NF EN 206+A2/CN (tableau 2) + fascicule de documentation FD P 18-011 (tableau 1).
- Préciser la classe XA1, XA2 ou XA3 avec précision du type d'agression
- Fournir analyse du sol ou des eaux qui seront en contact avec la partie d'ouvrage considérée.



Réponse possible en **approche prescriptive** ou bien en **approche performantielle avec des conditions particulières** (justification de la durabilité et au niveau Plan Assurance Qualité)

**Merci de votre
attention**

REACTION ALCALI-GRANULAT

Recommandations à l'usage des maîtres d'ouvrages et des maîtres d'oeuvre



Le choix des catégories d'ouvrage, des classes d'exposition de chaque partie d'ouvrage vis-à-vis des risques d'alcali-réaction et des niveaux de prévention à mettre en œuvre **est de la responsabilité du maître d'ouvrage.**



Les catégories d'ouvrage, les classes d'exposition associées à chaque partie d'ouvrage et les niveaux de prévention **doivent être prescrits par le rédacteur du CCTP et précisés dans le CCTP.**



Le fascicule de documentation FD P18-464 doit être prescrit dans les pièces du marché pour être applicable.

Exemple de rédaction :

Le titulaire doit mettre en œuvre les recommandations destinées à prévenir l'alcali-réaction des bétons données dans l'article 5.2.3.5 et NA 5.2.3.5 de la norme NF EN 206+A2/CN et dans le fascicule de documentation **FD P18-464**.

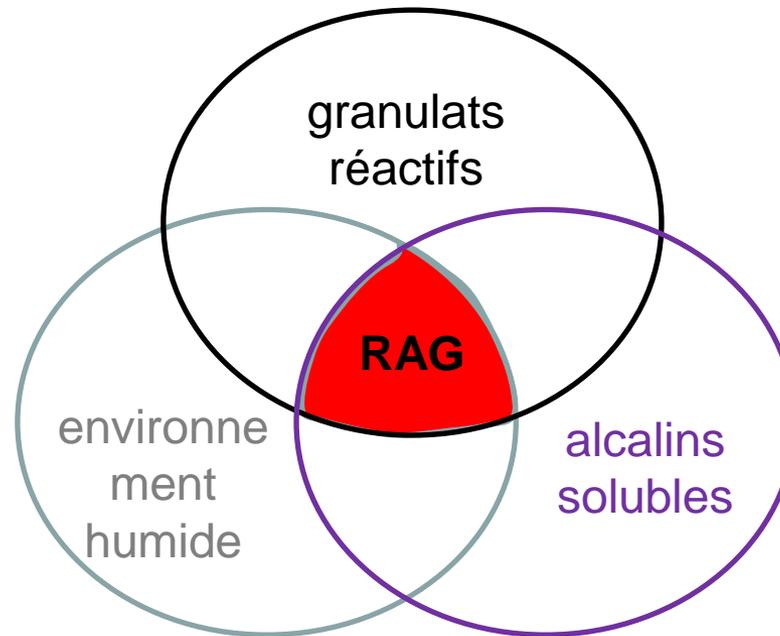
Pour l'application de ce document :

- l'ouvrage est de **catégorie** II, à l'exception des éléments provisoires qui relèvent de la catégorie I,
- les parties d'ouvrages relevant de la **classe d'exposition** XAR2/XAR3 sont les suivants : [...],
- les autres parties d'ouvrages relèvent de la **classe d'exposition** XAR1.

Exemple de rédaction :

Pour l'application de ce document :

- les parties d'ouvrage relevant du **niveau de prévention A** sont les suivantes : [...],
- les parties d'ouvrage relevant du **niveau de prévention B** sont les suivantes : [...],
- les parties d'ouvrage relevant du **niveau de prévention C** sont les suivantes : [...]



alcali-réaction = réaction alcali-granulat (RAG) = alkali-silica-reaction (ASR)

Recommandations à l'usage des maîtres d'ouvrages et des maîtres d'oeuvre

TEXTES DE REFERENCE

- Démarche de prévention : **FD P18-464** (juin 2021)
« *Béton - Dispositions pour prévenir les phénomènes d'alcali-réaction* » :
 **doit être prescrit dans les pièces du marché pour être applicable.**
- Classification des granulats : FD P18-542
- Essai de performance sur béton :
 - NF P18-454 (définition de l'essai),
 - FD P18-456 (durées d'essai et interprétation des résultats).

PRINCIPE GENERAL DE PREVENTION

La démarche de prévention vis-à-vis de l'alcali-réaction passe par la définition :

- d'une **Catégorie d'Ouvrage**,
- d'une **Classe d'Exposition** spécifique à la RAG, pour **chaque partie d'ouvrage**.

Croisement de ces deux paramètres \Rightarrow **Niveau de Prévention** (A, B ou C)



précautions à prendre pour se prémunir du risque de RAG.

Recommandations à l'usage des maîtres d'ouvrages et des maîtres d'oeuvre

EXEMPLES DE CATEGORIES D'OUVRAGE

Catégorie I : éléments non porteurs à l'intérieur des bâtiments, ouvrages provisoires ou facilement remplaçables, éléments préfabriqués non structurels.

Catégorie II : **la plupart des bâtiments** (éléments porteurs...) **et des ouvrages de Génie Civil** (ouvrages courants...).

Catégorie III : essentiellement **ouvrages exceptionnels** (centrales nucléaires, barrages, tunnels, bâtiments de prestige...).

Recommandations à l'usage des maîtres d'ouvrages et des maîtres d'oeuvre

CLASSES D'EXPOSITION SPECIFIQUES A LA RAG

Classe d'Exposition	Description de l'Environnement (avec Hygrométrie = humidité relative)
XAR1	sec ou peu humide (hygrométrie \leq 80%)
XAR2	hygrométrie $>$ 80% sans fondant salin ou en contact avec l'eau hors environnement marin
XAR3	hygrométrie $>$ 80% et avec fondants salins, ou environnement marin



Nota : les pièces de forte épaisseur ($>$ 50 cm si une seule face de séchage, de l'ordre de 1 m pour des pièces ayant 2 faces de séchage) situées en environnement sec ou d'hygrométrie inférieure à 80 % peuvent garder une humidité interne à long terme amenant à les classer en XAR2.

Recommandations à l'usage des maîtres d'ouvrages et des maîtres d'oeuvre

AIDE A LA DETERMINATION DU NIVEAU DE PREVENTION

		Classe d'Exposition spécifique RAG	
		XAR1	XAR2 ou XAR3
Catégorie d'Ouvrage	I	A	A
	II	A	B
	III	C	C

Recommandations à l'usage des maîtres d'ouvrages et des maîtres d'oeuvre

IMPACTS DU NIVEAU DE PREVENTION

Niveau A : pas de prise en compte spécifique du risque RAG.

Niveau B, une au moins des quatre dispositions suivantes doit être respectée :

granulats Non Réactifs (NR) ;

OU granulats (sables ET gravillons) Potentiellement Réactifs à effet de Pessimum (PRP) avec conditions particulières d'utilisation (cf. §6.3.1.2 du FD P18-464) ;

OU bilan des alcalins conforme ;

OU essai de performance conforme.

Recommandations à l'usage des maîtres d'ouvrages et des maîtres d'oeuvre

IMPACTS DU NIVEAU DE PREVENTION

Niveau C :

granulats Non Réactifs (NR) généralement recommandés ;

OU granulats (sables ET gravillons) Potentiellement Réactifs à effet de Pessimum (PRP), avec conditions particulières d'utilisation (cf. §6.3.1.2 du FD P 18-464) ;

OU, si l'approvisionnement en granulats Non Réactifs (NR) ou Potentiellement Réactifs à effet de Pessimum (PRP) est particulièrement difficile, de granulats Potentiellement Réactifs (PR) à condition de respecter l'une des deux conditions suivantes (cf. §6.2.3 du FD P 18-464) :

- taux moyen en alcalins actifs du béton $T_{moy} \leq 1,4 \text{ kg/m}^3$;
- OU essais de performance selon NF P 18-464 avec critères du FD P 18-456.

Nota : granulats Non Qualifiés (NQ) interdits en niveau C.

Recommandations à l'usage des maîtres d'ouvrages et des maîtres d'oeuvre

RECOMMANDATIONS

Dans quel cas un bilan d'alcalin est-il suffisant ?

1/2

Pour le niveau de prévention **B**, en cas d'utilisation de granulats **PR** ou **PRP**, il n'est pas nécessaire de prescrire un essai de performance lorsque la formule de béton satisfait aux critères **du bilan des alcalins du §6.3.2 du FD P18-464 (calcul immédiat** sous réserve de disposer des données nécessaires).

$$T = C.A_C + B.A_B + U.A_U + E.A_E + H.A_H$$

Ciment Granulats Adjuvants Eau Additions

C : quantité de ciment
(kg/m³ de béton)

A_c : teneur en alcalins actifs
du ciment(% en masse)

RECOMMANDATIONS

Dans quel cas un bilan d'alcalin est-il suffisant ?

2/2

Pour le niveau de prévention **C**, en cas d'utilisation de granulats **PR** du fait de la difficulté d'approvisionnement en granulats NR ou PRP, il n'est pas nécessaire de prescrire un essai de performance lorsque la formule de béton satisfait aux critères portant sur le taux moyen en alcalins équivalents actifs défini au **§6.2.3 du FD P 18-464**.

RECOMMANDATIONS

Comment lire un bilan en alcalins ?



Des terminologies proches peuvent recouvrir des notions très différentes.

Exemples : %Na₂O et %Na₂O_{eq} ; alcalins actifs et alcalins totaux ; teneurs maximales et teneurs moyennes (cf. FD P18-464).

e. g. : le bilan des alcalins permettant de valider la composition en niveau de prévention

B se base sur :

- CEM III/A ayant plus de 60% de laitier, CEM III/B et CEM III/C :



Limitation des alcalins totaux dans le ciment uniquement.

- autres cas :



Limitation des alcalins actifs apportés par tous les constituants du béton.

Recommandations à l'usage des maîtres d'ouvrages et des maîtres d'oeuvre

RECOMMANDATIONS

Qu'implique la réalisation d'un essai de performance ?

Nécessité de bien intégrer la durée de l'essai dans les phasages du projet :

 **entre 3 mois et 1 an (délai moyen de 5 mois)** selon la composition du béton et l'évolution des résultats d'essais.

Quelles sont les implications d'un niveau de prévention C ?

Implique généralement des **contraintes fortes** sur le **choix des granulats** avec pour conséquences des impacts importants sur les délais de mise au point des formules (délai de l'essai de performance si granulats PR ou pour les PRP lorsque c'est nécessaire) et sur les coûts.

Recommandations à l'usage des maîtres d'ouvrages et des maîtres d'oeuvre

RECOMMANDATIONS

Pour le niveau de prévention C, faut-il prescrire des granulats NR ?

Le FD P18-464 indique qu'il est **généralement** recommandé d'utiliser des granulats Non Réactifs (NR).

Toutefois, ce même fascicule **permet d'utiliser d'autres types de granulats** (PRP, voire PR) sous réserve de respecter leurs **conditions d'utilisation**. Dans ces conditions, il est raisonnable que le CCTP n'impose pas systématiquement l'utilisation de granulats NR.

En effet, la prescription de granulats NR peut conduire à **transporter des granulats sur de très grandes distances** en cas de non disponibilité de la ressource localement, d'où des coûts largement supérieurs et un impact non négligeable sur l'empreinte environnementale de l'ouvrage.

Recommandations à l'usage des maîtres d'ouvrages et des maîtres d'oeuvre

RECOMMANDATIONS

Qu'implique une modification de formule béton en cours de chantier ?

En cours de chantier, toute **modification de la composition du béton** (qualité ou quantité des constituants) doit conduire à s'interroger sur le maintien des conditions de non-réactivité du béton.

La **validation en amont** d'une **composition** de béton « **enveloppe** », avec une teneur en alcalins dépassant largement les variations envisagées en cours de chantier, permet de traiter facilement ce type de problématique.

*Nota : l'**attention** est attirée en particulier sur les **granulats PRP**, dont une modification de l'origine (vers un granulats non PRP) peut conduire à ne plus respecter les conditions d'usage.*

Recommandations à l'usage des maîtres d'ouvrages et des maîtres d'oeuvre

**Merci de votre
attention**

PRESCRIPTIONS COMPLEMENTAIRES RELATIVES A LA PREVENTION VIS-À-VIS DU GEL/DEGEL

Recommandations à l'usage des maîtres d'ouvrages et des maîtres d'oeuvre

-  Le choix du niveau de prévention **G** ou **G+S**, pour **chaque partie d'ouvrage**, est de la responsabilité du maître d'ouvrage.
-  Les **niveaux de gel et de salage**, les **classes d'exposition**, la **catégorie d'ouvrage** et les éventuels **niveaux de prévention** associés à chaque partie d'ouvrage doivent être prescrites par le rédacteur du CCTP et précisées dans le CCTP (cf. tableau présenté dans la fiche « Décomposition en parties d'ouvrage et tableau de définition des bétons »).

Exemple de texte à intégrer dans le CCTP :

L'entreprise a la responsabilité de mettre en œuvre les prescriptions décrites dans les Recommandations pour la durabilité des bétons durcis soumis au gel (UGE-2021).

Pour l'application des Recommandations (UGE-2021) :

- les parties d'ouvrages relevant de la classe d'exposition XF3 avec **niveau de prévention G** sont les suivantes : [...].
- les parties d'ouvrages relevant de la classe d'exposition XF4 avec **niveau de prévention G+S** sont les suivantes : [...].

Les Recommandations (UGE-2021) **doivent être prescrites** dans les pièces du marché pour être applicables.

PATHOLOGIES POTENTIELLES GENEREES PAR LE GEL/DEGEL

Les bétons soumis à des **cycles de gel/dégel en présence d'eau** peuvent être concernés par deux types principaux de dégradations :

- les dégradations par **gel interne**, qui se manifestent par une fissuration dans la masse du béton,
- les dégradations par **écaillage**, qui se manifestent par une perte d'écailles de béton, depuis la surface vers la profondeur, **en présence de sels de déverglaçage**.



Recommandations à l'usage des maîtres d'ouvrages et des maîtres d'oeuvre

PARAMETRES CLES

Paramètres clés pour le développement des pathologies :

- Exposition au **gel** (cycles de gel/dégel, accessibilité au gel de la partie d'ouvrage...),
- Exposition au **sel** (niveau de salage, distance, orientation de la partie d'ouvrage...),
- Saturation en **eau** (surface horizontale ou soumise aux projections),
- Gélivité des **granulats**,
- **Résistance** minimale de la pâte à la **traction** (nature du liant, rapport Eau Efficace/Liant Equivalent...),
- Structure du **réseau poreux** (capacité d'entraîner de l'air, taille et espacement moyen des pores...),
- ...

Généralement non concernées : parties d'ouvrages enterrées à plus de 1 m de profondeur.

Non concernées : parties d'ouvrages toujours sèches (intérieur de bâtiment chauffé...).

Recommandations à l'usage des maîtres d'ouvrages et des maîtres d'oeuvre

TEXTES DE REFERENCE

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

Normes d'essais :

- NF P18-424. Bétons - Essai de gel sur béton durci - Gel dans l'eau - Dégel dans l'eau. [dit « essai de gel sévère »],
- NF P18-425. Bétons - Essai de gel sur béton durci - Gel dans l'air - Dégel dans l'eau. [dit « essai de gel modéré »],
- XP P18-420. Béton - Essai d'écaillage des surfaces de béton durci exposées au gel en présence d'une solution saline,
- NF EN 12350-7. Essais pour béton frais - Partie 7 : teneur en air - Méthode de la compressibilité,
- XP P18-465. Bétons durcis Détermination du facteur d'espacement des bulles d'air [dit « Lbarre »].

Recommandations à l'usage des maîtres d'ouvrages et des maîtres d'oeuvre

PRINCIPE GENERAL DE PREVENTION

La démarche de prévention passe par la définition d'un niveau de prévention :

- **G** : pour les bétons devant résister aux **cycles de gel/dégel pur**,
- **G + S** : pour les bétons devant résister aux **cycles de gel/dégel en présence de sels de déverglaçage**.

Ces niveaux de prévention renforcent les exigences des textes usuels (NF EN 206/CN, le cas échéant : fascicule 65...).

Recommandations à l'usage des maîtres d'ouvrages et des maîtres d'oeuvre

AIDE A LA DETERMINATION DU NIVEAU DE PREVENTION

Expositions (parties d'ouvrages)		Conditions de site					
Exposition aux sels	saturation en eau ¹⁾	Gel faible ou modéré			Gel sévère		
		Salage peu fréquent ou aucun	Salage fréquent	Salage très fréquent	Salage peu fréquent ou aucun	Salage fréquent	Salage très fréquent
oui	Forte	XF1	XF2	XF4 (G+S)	XF3 (G)	XF4 (G+S)	XF4 (G+S)
	Faible	XF1	XF2	XF2	XF3 (G)	XF4 (G+S)	XF4 (G+S)
non	Forte	XF1	XF1	XF1	XF3 (G)	XF3 (G)	XF3 (G)
	Faible	XF1	XF1	XF1	XF3 (G)	XF3 (G)	XF3 (G)

¹⁾ Les éléments très exposés aux risques d'écaillage présentent des **surfaces horizontales** soumises aux **stagnations d'eau** et aux **projections directes de sels** de déverglaçage : corniches, solins d'ancrage des joints de chaussée, longrines d'ancrage des dispositifs de retenue...

Recommandations à l'usage des maîtres d'ouvrages et des maîtres d'oeuvre

RECOMMANDATIONS GEL / DEGEL

Quels types d'ouvrages sont concernés ?

Lorsque la classe d'exposition est XF3 ou XF4, une prescription de niveau de prévention G ou G+S peut être rajoutée pour certaines parties d'ouvrages des ouvrages suivants :

- ouvrages avec une durée d'utilisation de projet supérieure à 50 ans (et donc tous les ouvrages de génie civil), avec en particulier :

*ouvrages d'art : ponts routiers, autoroutiers ou ferroviaires
bâtiments de prestige
têtes de tunnels...*

- ouvrages particulièrement exposés ayant une durée d'utilisation de projet inférieure à 50 ans (opportunité à étudier au cas par cas) :

*parkings
remontées mécaniques
pistes d'aéroports et parkings avions (bétons G uniquement)
stockages de sels...*

Recommandations à l'usage des maîtres d'ouvrages et des maîtres d'oeuvre

RECOMMANDATIONS GEL / DEGEL

Quelle différence entre XF3 et XF3 G ; XF4 et XF4 G+S ?

1/2

Les classes d'exposition **XF1 à XF4** renvoient à des prescriptions (NF EN 206/CN, ou le cas échéant fascicule 65, CCTG SNCF IN 0034...) relatives :

- au rapport maximal Eau Efficace/Liant Equivalent,
- au dosage minimal en Liant Equivalent,
- aux caractéristiques complémentaires des ciments (ES/SR),
- aux taux de substitution autorisés du ciment (CEM I ou CEM II/A) par des additions,
- à la teneur minimale en air occlus,
- aux valeurs minimales d'enrobage (norme NF EN 1992-1-1).

Recommandations à l'usage des maîtres d'ouvrages et des maîtres d'oeuvre

RECOMMANDATIONS GEL / DEGEL

Quelle différence entre XF3 et XF3 G ; XF4 et XF4 G+S ?

2/2

Les niveaux de prévention G et G+S renforcent ces exigences par :

- des valeurs plus strictes pour les limites de composition du béton,
- des spécifications sur la nature des constituants du béton,
- des performances vérifiées sur la base d'essais semi-performantiels (essais d'écaillage et/ou de gel interne en enceinte climatique) ou d'indicateurs de substitution (L_{barre} = facteur d'espacement des bulles d'air), avec une définition des seuils d'acceptation,
- des programmes détaillés pour les études, convenances et contrôles.

Ces différences sont synthétisées dans les figures 1 et 2.

Recommandations à l'usage des maîtres d'ouvrages et des maîtres d'oeuvre

Principales spécifications induites par le niveau de prévention

G

Fig.1

Classes d'exposition XF3		
	XF3	XF3 (G)
Texte de référence	NF EN 206/CN	NF EN 206/CN et Recommandations UGE 2021
Exigences spécifiques :	essais , initial matériaux , résistance en compression et limites de composition selon NF EN 206/CN	études , et convenances spécifiques. renforcement , exigences sur matériaux, résistance en compression et limites de
Méthode de validation de la résistance au gel :	teneur en air spécifiée (NF EN 12350-7) OU essai de performance au gel interne (NF P18-424 ou NF P18-425)	teneur en air (NF EN 12350-7) ET Lbarre (XP P18-465) OU essai de performance au gel interne (NF P18-424 ou NF P18-425)
Critères essais préalable à la production :	<u>seuils pour l'essai initial :</u> teneur en air $\geq 4\%$ avec résistance en compression conforme OU gel interne : $\Delta I/I \leq 400 \mu\text{m/m}$ ET $(f_{cu}/f_{ck})^2 \geq 0,75$	<u>seuils pour étude/convenance :</u> teneur en air : détermination de la plage de valeur garantissant un lbarre $\leq 250 \mu\text{m}$ et une résistance en compression conforme. OU gel interne : $\Delta I/I \leq 400 \mu\text{m/m}$ ET $(f_{cu}/f_{ck})^2 \geq 0,75$
Critères en contrôle :	teneur en air pouvant s'écarter de -0,5 à +5 point de pourcent par rapport à la valeur minimale spécifiée (soit comprise dans une plage de 3,5 à 9% pour une valeur minimale spécifiée de 4%). OU gel interne : $\Delta I/I \leq 500 \mu\text{m/m}$ ET $(f_{cu}/f_{ck})^2 \geq 0,60$	teneur en air : comprise dans la plage validée en étude et convenance, sans dépasser +5 point de pourcent par rapport à la valeur minimale autorisée. lbarre : $\leq 300 \mu\text{m}$ OU gel interne : $\Delta I/I \leq 500 \mu\text{m/m}$ ET $(f_{cu}/f_{ck})^2 \geq 0,60$

Recommandations à l'usage des maîtres d'ouvrages et des maîtres d'oeuvre

Principales spécifications induites par le niveau de prévention G+S

Fig.2

Classes d'exposition		
	XF4	XF4
Texte de référence	NF EN 206/CN	NF EN 206/CN et Recommandations UGE 2021
Exigences spécifiques :	essais initial matériaux, résistance en compression et limites de composition selon NF EN 206/CN	études et convenances spécifiques. renforcement exigences sur matériaux, résistance en compression et limites de composition.
Méthode de validation de la résistance au gel/sel :	teneur en air spécifiée (NF EN 12350-7) OU essais de performance : gel interne (NF P18-424 ou NF P18-425) ET écaillage (XP P18-420)	teneur en air (NF EN 12350-7) ET l'barre (XP P18-465) OU essai de performance gel interne (NF P18-424 ou NF P18-425) ET essai de performance d'écaillage (XP P 18 420)
Critères essais préalables à la production :	seuils pour l'essai initial : teneur en air $\geq 4\%$ avec résistance en compression conforme OU gel interne : $\Delta I/I \leq 400 \mu\text{m}/\text{m}$ ET $(f_{tr}/f_0)^2 \geq 0,75$ ET écaillage : $\leq 600 \text{ g}/\text{m}^2$	seuils pour étude/convenance : teneur en air : détermination de la plage de valeur garantissant un l'barre $\leq 200 \mu\text{m}$ et une résistance en compression conforme. OU gel interne : $\Delta I/I \leq 400 \mu\text{m}/\text{m}$ ET $(f_{tr}/f_0)^2 \geq 0,75$ ET écaillage : $\leq 600 \text{ g}/\text{m}^2$
Critères en contrôle :	teneur en air pouvant s'écarter de -0,5 à +5 point de pourcent par rapport à la valeur minimale spécifiée (soit comprise dans une plage de 3,5 à 9% pour une valeur minimale spécifiée de 4%). OU gel interne : $\Delta I/I \leq 500 \mu\text{m}/\text{m}$ ET $(f_{tr}/f_0)^2 \geq 0,60$ ET écaillage : $\leq 750 \text{ g}/\text{m}^2$	teneur en air : comprise dans la plage validée en étude et convenance, sans dépasser +5 point de pourcent pas rapport à la valeur minimale autorisée. l'barre : $\leq 250 \mu\text{m}$ OU gel interne : $\Delta I/I \leq 500 \mu\text{m}/\text{m}$ ET $(f_{tr}/f_0)^2 \geq 0,60$ ET : écaillage : $\leq 750 \text{ g}/\text{m}^2$

Recommandations à l'usage des maîtres d'ouvrages et des maîtres d'oeuvre

RECOMMANDATIONS GEL / DEGEL

Faut-il imposer ou interdire certains ciments/additions/granulats ? 1/2

Cas général : le choix des constituants relève de la responsabilité de l'entreprise et/ou du producteur de béton.



Veiller à ce que les prescriptions du marché relatives aux ciments et additions ne soient pas trop contraignantes, sous peine d'aboutir rapidement à des impossibilités techniques.

Cependant, du fait des particularités liées à la dégradation par gel/dégel, des prescriptions détaillées sur les constituants et les limites de composition sont définies dans les Recommandations UGE-2021.

Elles prennent en compte les aspects suivants :

- Les granulats doivent être non gélifs,
- Des précautions sont à prendre sur le choix des liants.

Recommandations à l'usage des maîtres d'ouvrages et des maîtres d'oeuvre

RECOMMANDATIONS GEL / DEGEL

Faut-il imposer ou interdire certains ciments/additions/granulats ? 2/2

L'Annexe A des Recommandations (UGE-2021) définit des modalités de validation pour les formulations non courantes utilisant :

- Des granulats de résistance au gel F2 à F4 ;
- Des teneurs en laitier de hauts fourneaux supérieures à 35% en masse du liant total ;
- Des cendres volantes ;
- Des ciments autres que les ciments CEM I, CEM II/A ou B ou CEM IV ;
- Des microbilles plastiques.



L'emploi de ces formulations alternatives nécessite l'accord explicite du maître d'œuvre.

Les ciments introduits par la norme NF EN 197-5 ne sont pas autorisés dans le cadre des Recommandations (UGE, 2021) pour les formulations avec adjuvant entraîneur d'air.

Recommandations à l'usage des maîtres d'ouvrages et des maîtres d'oeuvre

RECOMMANDATIONS GEL / DEGEL

Peut-on réaliser les essais de durabilité au gel au-delà de 28 jours pour les bétons formulés avec des additions ou des ciments composés ?

A la différence de pathologies telles que la carbonatation des bétons, les endommagements liés au gel/écaillage peuvent se produire dès le premier hiver d'exposition.



Les essais de durabilité en enceinte climatique doivent être réalisés à 28 j (conformément aux normes d'essais) **dans le cas général**, même si les propriétés du béton pourraient être améliorées par un temps de maturation plus long.



dans le cas particulier où l'ouvrage ne serait **pas soumis aux sels de déverglaçage avant 90 j** (majorité des ouvrages neufs, certaines pièces préfabriquées...), il est possible de réaliser l'essai d'écaillage à 90 j selon les modalités d'essais décrites au §6.4.3 des Recommandations (UGE, 2021).

Recommandations à l'usage des maîtres d'ouvrages et des maîtres d'oeuvre

RECOMMANDATIONS GEL / DEGEL

Quelles sont les conséquences de la prescription d'un niveau de prévention G ou G+S ?



A réserver dans le cas où la **résistance au gel / écaillage** représente un **enjeu majeur**, ce qui est généralement le cas pour les ouvrages relevant d'une durée d'utilisation de projet de 100 ans situés en environnement hivernal rigoureux.

En effet, ces prescriptions conduisent à :

- Ecarter ou limiter certains constituants,
- Augmenter les dosages en liant équivalent, ce qui nécessite une prise en compte adaptée du risque de développement d'une RAG ou d'une RSI,
- Augmenter potentiellement le risque de corrosion (si présence d'air entrainé),
- Augmenter les risques de problèmes de résistance et de mise en œuvre (si mauvaise maîtrise de l'air entrainé),
- Augmenter les délais (essais longs, études et convenances lourdes).

Recommandations à l'usage des maîtres d'ouvrages et des maîtres d'oeuvre

RECOMMANDATIONS GEL / DEGEL

Quelles sont les implications d'une modification de composition du béton?

En cours de chantier, toute modification de la composition du béton doit conduire à s'interroger sur le maintien des conditions de sa non-géivité.

Modification importante au sens de la durabilité au gel et aux sels



Réaliser à nouveau les études et convenances (attention : délais d'essais importants).

Modalités de prise en compte des adaptations saisonnières des formulations définies dans le §8.2.3. des Recommandations (UGE, 2021).

Recommandations à l'usage des maîtres d'ouvrages et des maîtres d'oeuvre

RECOMMANDATIONS GEL / DEGEL

Quel essai choisir pour valider une composition de béton vis-à-vis du risque de gel interne ou d'écaillage ? 1/2

3 catégories d'essais :

- **Essais semi-performantiels**, permettant de caractériser en enceinte climatique les performances des bétons. Ils constituent la **méthode de référence** :
 - Gel dans l'air - dégel dans l'eau : NF P18-425 (durée : 3,5 mois) : **GEL INTERNE**,
 - Gel dans l'eau - dégel dans l'eau : NF P18-424 (durée : 3,5 mois) : **GEL INTERNE**,
 - Gel en présence de sels (écaillage) : XP P18-420 (durée : 3 mois) : **ECAILLAGE**.
- **Indicateur de substitution** aux 2 essais de gel interne, permettant la validation rapide (environ 7 jours) de la résistance au **gel interne** (au sens du niveau de prévention G) pour la plupart des bétons formulés avec un adjuvant **entraîneur d'air** :
 - facteur d'espacement des bulles d'air : XP P18-465.

Recommandations à l'usage des maîtres d'ouvrages et des maîtres d'oeuvre

RECOMMANDATIONS GEL / DEGEL

Quel essai choisir pour valider une composition de béton vis-à-vis du risque de gel interne ou d'écaillage ? **2/2**

- **Indicateur rapide** permettant de s'assurer **sur chantier**, à la livraison du béton, que la **teneur en air occlus** reste compatible avec les valeurs ayant permis de valider la composition à l'issue des épreuves d'étude et de convenance :
 - Teneur en air, méthode de la compressibilité : NF EN 12350-7.

RECOMMANDATIONS GEL / DEGEL

QUEL TYPE D'ESSAI DE GEL INTERNE ?

		Type de gel	
		modéré	Sévère
Saturation en eau	Modérée	-	NF P18-425
	Forte	NF P18-425	NF P18-424

Cas général : ne pas prescrire en même temps la réalisation d'un essai de gel interne et la détermination du facteur d'espacement des bulles d'air.

Recommandations à l'usage des maîtres d'ouvrages et des maîtres d'oeuvre

RECOMMANDATIONS GEL / DEGEL

Est-il obligatoire d'utiliser un adjuvant entraîneur d'air pour les bétons G ou G+S ?

Oui, sauf pour certains bétons ≥ 50 MPa et les bétons projetés.

Attention aux délais d'essais si formulation sans entraîneur d'air.

Si utilisation de microbilles plastiques compressibles en substitution d'un adjuvant entraîneur d'air pour la prévention au gel



Validation sur la base d'essais en enceinte climatique.

RECOMMANDATIONS GEL / DEGEL

Y-a-t-il des essais spécifiques pour les bétons projetés ?

Le L_{barre} n'est généralement pas adapté à ce type de béton. La résistance au gel sera donc évaluée à partir des **essais de durabilité au gel interne** (NF P18-424 ou NF P18-425).

Les essais d'écaillage seront réalisés sur **face sciée**, l'irrégularité de la surface de béton projeté rendant illusoire la possibilité de maintenir une couche de saumure d'épaisseur constante pendant l'essai.

Seuils de conformité adaptés en conséquence : cf. § A6.5 des Recommandations (UGE, 2021).

Recommandations à l'usage des maîtres d'ouvrages et des maîtres d'oeuvre

COMPOSITION DU GROUPE DE TRAVAIL

AIT ALAIWA Abdelghafour
AMMOUCHE Abdelkrim
BIGAS Jean-Philippe
BILYK Christophe
BRU Stéphane
CAPRA Claire
DIERKENS Michaël
JANIN Murielle
MOULIN Isabelle
PINEAU François
RAGOUT Sylvaine
WALLER Vincent

VINCI CONSTRUCTION GRANDS PROJETS
LERM SETEC
CHRYSO
SNCF RESEAU DIRECTION INGENIERIE et PROJETS
VICAT
LAFARGE HOLCIM
CEREMA
ECOCEM
LERM SETEC
ANDRA
LAFARGE HOLCIM
UNIBETON HEIDELBERGCEMENT GROUP

Animation du groupe : Michaël DIERKENS

Recommandations à l'usage des maîtres d'ouvrages et des maîtres d'oeuvre

**Merci de votre
attention**

APPROCHE PERFORMANTIELLE DES BETONS

Recommandations à l'usage des maîtres d'ouvrages et des maîtres d'oeuvre

RESPONSABILITÉS RELATIVES À LA DÉCISION D'APPLICATION DE L'APPROCHE PERFORMANTIELLE

- Méthode performantielle : alternative autorisée par la norme NF EN 206+A2/CN
- Démarche transparente qui doit être acceptée par toutes les parties
- Proposée par le titulaire pour **tout ou partie des bétons de l'ouvrage et pour tout ou partie des classes d'expositions** ou imposée au CCTP

RESPONSABILITÉS RELATIVES À LA DÉCISION D'APPLICATION DE L'APPROCHE PERFORMANTIELLE

- NF EN 206+A2/CN 2022 : application de l'approche performantielle autorisée par application du fascicule FD P18-480
- Rôle du Maître d'Œuvre :
 - ➔ Définition du niveau d'application de la méthode
 - ➔ Mise en place d'un contrôle extérieur approprié

NIVEAUX D'APPLICATION

- Fonction de la catégorie d'ouvrage concernée.
- Définissent le “niveau de contrôle”.
- En général:
 - ➔ **Catégorie 1** : éléments 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, les éléments situés en environnement peu agressifs,
 - ➔ **Catégorie 2** : bâtiments et certains ouvrages courants de génie civil conçus pour une durée de vie de 50 ans,
 - ➔ **Catégorie 3** : ouvrages conçus pour une durée de vie 100 ans et les ouvrages exceptionnels (centrales nucléaires, barrages, tunnels, bâtiments de prestige, ...).

Recommandations à l'usage des maîtres d'ouvrages et des maîtres d'oeuvre

NIVEAUX D'APPLICATION

- Choix décidé par le Maître d'Ouvrage/Maître d'œuvre
- Niveaux recommandés :

Classes d'exposition	XC1	XA	Autres classes
Catégories			
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 conçus pour une 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

Recommandations à l'usage des maîtres d'ouvrages et des maîtres d'oeuvre

Approche prescriptive

- **Critères sur la nature du liant** selon classe d'exposition, le niveau de qualité des granulats à respecter selon classe mécanique (C35/45 et +), classe d'exposition (XA)
- Justification de la durabilité par **respect des limites de composition du béton**
- Epaisseurs d'enrobages minimales ($C_{min, dur}$) modulables selon classe mécanique du béton, nature du liant.

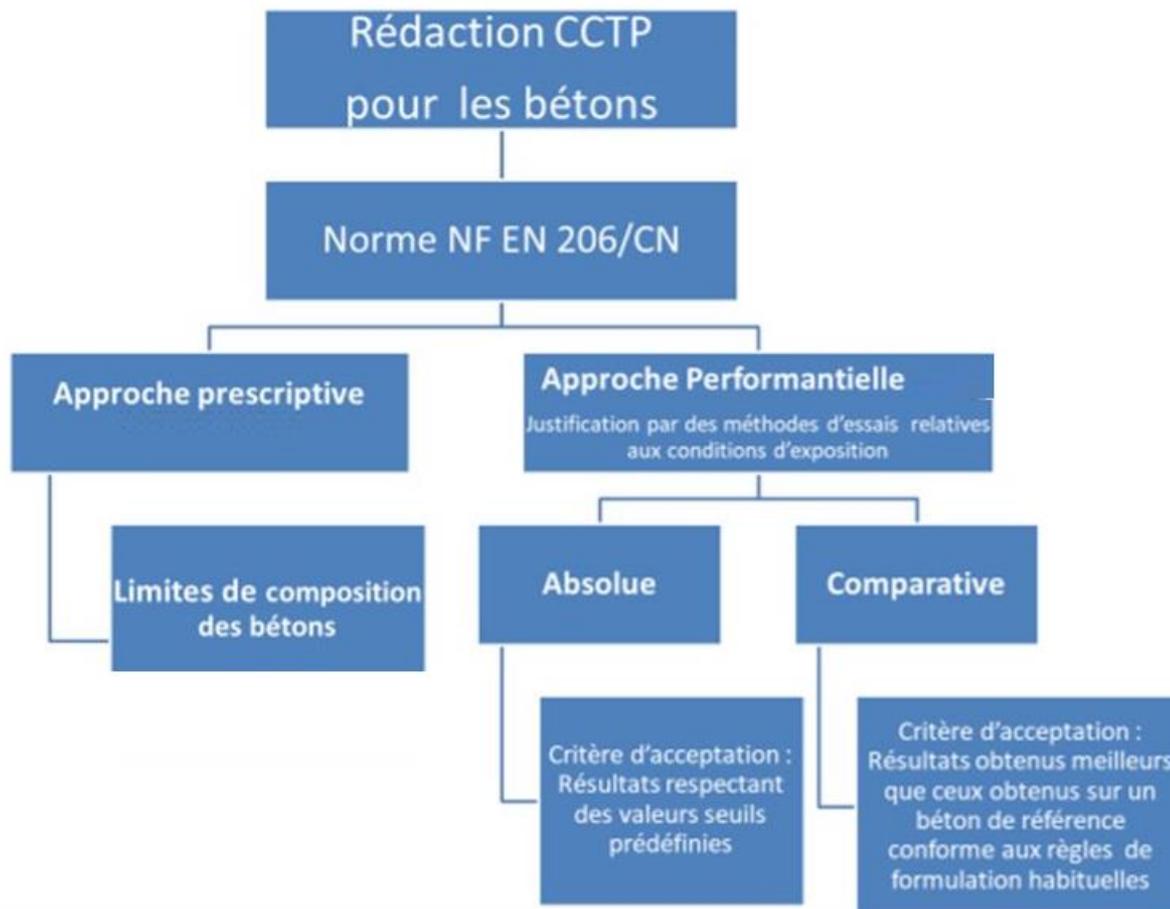
Approche performantielle

- **Composition du béton, composition du liant et qualité des granulats non imposées ***
- Justification de la durabilité par **respect de valeurs limites / essai(s) performantiel(s) sur béton, indicateurs de durabilité**
- Epaisseurs d'enrobages minimales ($C_{min, dur}$) modulables avec justification d'une durabilité supérieure.

* les constituants doivent toutefois être **aptés à l'emploi selon la norme NF EN 206+A2/CN**

Recommandations à l'usage des maîtres d'ouvrages et des maîtres d'oeuvre

APPROCHE PERFORMANTIELLE



Recommandations à l'usage des maîtres d'ouvrages et des maîtres d'oeuvre

APPROCHE PERFORMANTIELLE



52 partenaires : Maîtres d'ouvrage, Maîtres d'œuvre, Entreprises, Fournisseurs BPE, Fournisseurs constituants, Laboratoires publics et privés



Recommandations à l'usage des maîtres d'ouvrages et des maîtres d'oeuvre

APPROCHE PERFORMANTIELLE

Thème 1 : Essais de durabilité

- Corrélation indicateurs / carbonatation, optimisation de certains modes opératoires, essais croisés, étude « ageing effect », ...

Thème 2 : Définition des seuils de performance admissibles

- Exploitation de données expérimentales (base de données, corps d'épreuve, ouvrages anciens, ...), utilisation de modèles de vieillissement (synergie avec ANR Modevie)

Thème 3 : Bétons à étudier – Bétons de référence

- Paramètres (liant, granulats, Eeff/Leq, ...), tableaux NA F, variabilité spatiale et temporelle

Thème 4 : Contractualisation de l'approche

- Contexte contractuel, CCTP Type, contrôles de conformité

Thème 5 – Valorisation des résultats (France et Europe)

- CSI : Comité Scientifique International,
- Edition d'un ouvrage (ed. Eyrolles), Publications en ligne (à venir)
- **Journées de restitution du Projet National** (Paris, 28 octobre 2022 / Lyon, 17 novembre 2022 / Toulouse, 14 décembre 2022 / Nantes, le 18 Janvier 2023 / **Strasbourg, le 21 mars 2023** (cf. Site AFGC pour inscription)



Recommandations à l'usage des maîtres d'ouvrages et des maîtres d'oeuvre

LES MÉTHODES D'ESSAIS

Méthodes d'essais actualisées :

- **Pour les classes XC :**

- XP P 18-458 : Essai de carbonatation accélérée
- NF P 18-459 : Essai de porosité et de masse volumique
- XP P 18-481 : Essai de résistivité électrique

- **Pour les classes XD / XS :**

- XP P 18-462 : Essai accéléré de migration des ions chlorure en régime non stationnaire
- NF P 18-459 : Essai de porosité et de masse volumique
- XP P 18-481 : Essai de résistivité électrique

Recommandations à l'usage des maîtres d'ouvrages et des maîtres d'oeuvre

LES MÉTHODES D'ESSAIS

Pour les classes XA :

- **Lixiviation**

- XP P 18-482 – Béton - Essai sur béton durci - Essai de lixiviation à l'acide nitrique à pH constant »
- XP P 18-462 : Béton - Essai sur béton durci - Essai accéléré de migration des ions chlorure en régime non stationnaire

- **Attaque sulfatique externe**

- SIA 262-1 annexe D : Essai de résistance aux sulfates
- Mode opératoire PERFDUB : Protocole RSE par saturation
- XP P 18-462 : Béton - Essai sur béton durci - Essai accéléré de migration- des ions chlorure en régime non stationnaire (seulement si nature du liant conforme au fascicule FD P 18-011).

- **Biodégradation**

- Mode opératoires PERFDUB : 2 types d'Essais de biodégradation

Recommandations à l'usage des maîtres d'ouvrages et des maîtres d'oeuvre

CRITÈRES POUR LES CLASSES XC

Seuils de performance pour la vitesse de carbonatation accélérée

Classe d'exposition	Modulation selon la classe de résistivité à 90 j selon XP P18-481 ($\Omega.m$)	Vitesse caractéristique de carbonatation accélérée selon XP P 18-458 $V_{acc,k,90j}$ (mm/(jour) ^{0,5})	
		DUP 50 ans	DUP 100 ans
XC1	< 100	4	4
	100 à 175		
	> 175		
XC2	< 100	3	2,6
	100 à 175	3,5	3
	> 175		
XC3	< 100	1,8	1,8
	100 à 175	2,2	
	> 175		
XC4	< 100	1,8	1,8
	100 à 175	2,2	
	> 175	3 *	2,2

Recommandations à l'usage des maîtres d'ouvrages et des maîtres d'oeuvre

CRITÈRES POUR LES CLASSES XC (ALTERNATIVE)

Seuils de performance pour la porosité à l'eau divisée par la fraction volumique de pâte

Classes Exposition	Modulation selon la classe de résistivité à 90 j ($\Omega.m$)	Porosité caractéristique accessible à l'eau / Fraction volumique de pâte $P_{eau,k,90d}/fV_p$ (%)	
		50 ans (S4)	100 ans (S6)
XC1	< 100	65%	65%
	100 à 175		
	> 175		
XC2	< 100	65%	60%
	100 à 175	65%	65%
	> 175		
XC3	< 100	50%	50%
	100 à 175	55%	
	> 175		
XC4	< 100	50%	50%
	100 à 175	55%	50%
	> 175	65%	55%

Recommandations à l'usage des maîtres d'ouvrages et des maîtres d'oeuvre

CRITÈRES POUR LES CLASSES XS

Classe d'exposition	Modulation selon la classe de facteur de vieillissement	Coefficient caractéristique de migration des ions chlorure selon XP P18-462 $D_{rcm,k,90j}$ ($\times 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$)	
		DUP 50 ans	DUP 100 ans
XS1	0,30 à 0,39	16 (28 [*])	9 (16 [*])
	0,40 à 0,49	28	22
	0,50 à 0,59		
	0,60 et plus		
XS2	0,30 à 0,39	5 (9 [*])	3 (5 [*])
	0,40 à 0,49	9	5
	0,50 à 0,59	16	9
	0,60 et plus		
XS3e	0,30 à 0,39	5	5
	0,40 à 0,49	9	9
	0,50 à 0,59	16	16
	0,60 et plus	22	22
XS3m	0,30 à 0,39	2	2
	0,40 à 0,49	3	3
	0,50 à 0,59	5	5
	0,60 et plus	9	9

* Les valeurs avec astérisque sont applicables pour des bétons dont la porosité à l'eau mesurée à 90 jours (valeur caractéristique associée à un fractile de 90 %) est inférieure ou égale à 13,5 %.

Recommandations à l'usage des maîtres d'ouvrages et des maîtres d'oeuvre

CRITÈRES POUR LES CLASSES XD

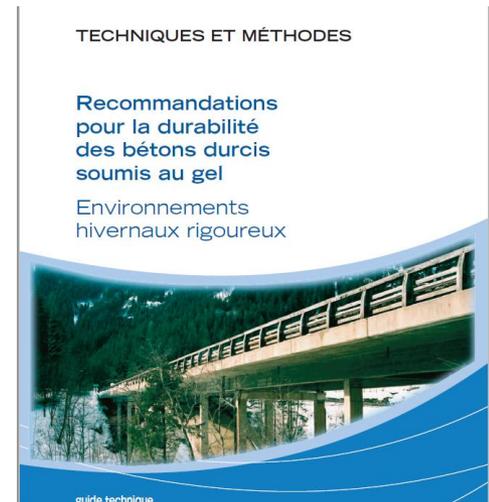
Classe d'exposition	Modulation selon la classe de facteur de vieillissement	Coefficient caractéristique de migration des ions chlorures selon XP P18-462 $D_{rcm,k,90j}$ ($\times 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$)	
		DUP 50 ans	DUP 100 ans
XD1	0,30 à 0,39	16 (28 [*])	16 (22 [*])
	0,40 à 0,49	28	28
	0,50 à 0,59		
	0,60 et plus		
XD2	0,30 à 0,39	9	9
	0,40 à 0,49	16	16
	0,50 à 0,59	22	22
	0,60 et plus		
XD3f (salage fréquent)	0,30 à 0,39	9	9
	0,40 à 0,49	16	16
	0,50 à 0,59	22	22
	0,60 et plus		
XD3tf (salage très fréquent)	0,30 à 0,39	5	5
	0,40 à 0,49	9	9
	0,50 à 0,59	16	16
	0,60 et plus		

* Les valeurs avec astérisque sont applicables pour des bétons dont la porosité à l'eau mesurée à 90 jours (valeur caractéristique associée à un fractile de 90 %) est inférieure ou égale à 13,5 %.

Recommandations à l'usage des maîtres d'ouvrages et des maîtres d'oeuvre

CRITÈRES POUR LES CLASSES XF

- XF1 : utiliser les critères du XC4
- XF2 : Utiliser les critères du XD3f (sauf si très exposé aux sels de déverglaçage)
- XF3 et XF4 : Qualifier / tester selon les Recommandations pour la durabilité des bétons durcis soumis au gel
(Guide Université Gustave Eiffel 2021).



CRITÈRES POUR LES CLASSES XA

- Méthode comparative avec béton de référence
 - Même ouvrabilité que le béton candidat à l'approche performantielle
 - Utilisation d'un ciment compatible au type d'attaque XA
 - Limitation du rapport $\text{Eau}_{\text{efficace}}/\text{Liant}_{\text{équivalent}}$:

Classe exposition	XA1	XA2	XA3
DUP 50 ans	$\leq 0,50$	$\leq 0,45$	$\leq 0,40$
DUP 100 ans	$\leq 0,45$	$\leq 0,40$	$\leq 0,35$

CRITÈRES POUR LES CLASSES XA

RESISTANCE AUX ATTAQUES SULFATIQUES

	Protocole RSE par saturation (mode opératoire PerfDuB)	Protocole RSE par immersion séchage (SIA 262-1 annex D)	Ciment du béton de référence
Classe d'exposition	$\Delta L/L_M$	$\Delta L/L_S$	
XA1	$\leq \Delta L/L_M$ du béton de référence	$\leq \Delta L/L_S$ du béton de référence	CEM I PM
XA2	$\leq \Delta L/L_M$ du béton de référence	$\leq \Delta L/L_S$ du béton de référence	CEM I SR 3
XA3	$\leq 0,05\%$ valeur moyenne ($0,07\%$ max sur valeur individuelle)	$\leq 0,12\%$	N.A.

Dans le cas où la (les) dérogation(s) à la méthode prescriptive ne concerne(nt) pas la nature du liant (le liant est conforme aux exigences du FD P 18-011), il est possible alternativement de justifier le béton à qualifier en respectant un critère basé sur le coefficient de migration des chlorures (XP P 18-462: $D_{rcm,90j}$)

Recommandations à l'usage des maîtres d'ouvrages et des maîtres d'oeuvre

CRITÈRES POUR LES CLASSES XA

RESISTANCE AUX ATTAQUES ACIDES

Classes exposition	XP P 18-482 I_{Ca}	Béton de référence	
		Ciment	Fraction volumique de pâte fVp Squelette granulaire (dosage et nature)
XA1	$\leq I_{Ca}$ du béton de référence	CEM II/B-S ou CEM III/A	Equivalent au béton de référence
XA2	$\leq I_{Ca}$ du béton de référence	CEM II/B-S ou CEM III/A	Equivalent au béton de référence
XA3	$\leq I_{Ca}$ du béton de référence	CEM V/A ES	Equivalent au béton de référence

$$I_{Ca} = 1000 \times Ca_{\text{lixivié}} / Ca_{\text{initial}}$$

Dans le cas où la (les) dérogation(s) à la méthode prescriptive ne concerne(nt) pas la nature du liant (le liant est conforme aux exigences du FD P 18-011), il est possible alternativement de justifier le béton à qualifier en respectant un critère basé sur le $D_{rcm,90j}$.

Recommandations à l'usage des maîtres d'ouvrages et des maîtres d'oeuvre

CRITÈRES POUR LES CLASSES XA

RESISTANCE AUX ATTAQUES PAR HYDROGENE SULFURE (H₂S)

Classe exposition	Mode opératoire PerfDuB $I_{bio/tem}$	Béton de référence	
		Ciment	Fraction volumique de pâte fVp Squelette granulaire
XA1	$\leq I_{bio/tem}$ du béton de référence	CEM I	Equivalent au béton de référence
XA2	$\leq I_{bio/tem}$ du béton de référence	CEM III/B SR	Equivalent au béton de référence
XA3	$\leq I_{bio/tem}$ du béton de référence	CAC	Equivalent au béton de référence

$I_{bio/tem}$: index de dégradation, normalisé en relation avec celui du béton de référence à base de CEM I SR0

$I_{bio/tem}$: épaisseur de dégradation (test développé par l'UGE)

$I_{bio/tem}$: Calcium lixivié (BacTest)

Recommandations à l'usage des maîtres d'ouvrages et des maîtres d'oeuvre

PRINCIPES GÉNÉRAUX DE L'APPROCHE PERFORMANTIELLE

- Justification par **dossier technique** détaillant la composition du béton, les performances obtenues et leur interprétation
- Essais effectués par un **laboratoire agréé** avec des références probantes.
- Choix de l'Approche Performantielle **accepté par toutes les parties concernées.**
- Démarche **transparente pour toutes les parties prenantes.**

PRINCIPES GÉNÉRAUX DE L'APPROCHE PERFORMANTIELLE

L'appellation normalisée du béton :

- **Béton conforme à la norme NF EN 206+A2/CN**
 - **BPPS** (Béton Performantiel à Propriétés Spécifiées),
 - **BPCP** (Béton Performantiel à Composition Prescrite).

- **Désignation spécifique, exemple :**

BPPS C30/37 XF1/XS2p.

- respect des exigences prescriptives de la norme (XF1)
- **justification performantielle (XS2).**

Recommandations à l'usage des maîtres d'ouvrages et des maîtres d'oeuvre

EXEMPLES AVEC FICHES DE SYNTHÈSE

	Centrale Préfa	Centrale BPE	Centrale BPE	Centrale Préfa
	Béton C25/30 (exigences dimensionnement du BE) en XC1 ; formule dérogeant sur la teneur minimale en liant équivalent du Tabl 8B Fasc 65	Béton C30/37 (classe minimale de la classe d'exposition visée) en XC4 ; formule dérogeant sur la teneur minimale en liant équivalent du Tabl 8B Fasc 65	Béton C40/50 pour XS3(e) avec combinaison ciment (hors CEM I) + addition (hors calcaire). Formule conforme Tabl 8B Fasc 65. Justification pour minorer d'une classe structurale (enrobage cmin, dur)	Béton C40/50 pour XA3 (sol acide) avec granulats dérogeant sur exigence de WA maximale
Appellation normalisée	BPPS NF EN 206/CN C25/30 XC1(F)p D20 S4 Cl0,4	BPPS NF EN 206/CN C30/37 XC4(F)p D20 S4 Cl0,4	BPPS NF EN 206/CN C40/50 XS3(F)p D20 S3 Cl0,4	BPPS NF EN 206/CN C35/45 XA3(F)p D22,4 S4 Cl0,4
Niveau d'application	N2	N3	N3	N3
Classe(s) d'exposition	XC1p	XC4p	XS3(e)p	XA3p (sol acide)
DUP	100 ans	100 ans	100 ans	100 ans
Indicateurs de durabilité généraux retenus	%Ab (béton) Résistivité	Porosité à l'eau Résistivité	Porosité à l'eau Résistivité	%Ab (béton) Résistivité
Grandeur associée à la durabilité retenue	Méthode de base : Vitesse de carbonatation accélérée ($v_{carbo\ acc}$) <i>Méthode alternative si béton particulier : Porosité accessible à l'eau (P_{eau})</i>	Méthode de base : Vitesse de carbonatation accélérée ($v_{carbo\ acc}$) <i>Méthode alternative si béton particulier : Porosité accessible à l'eau (P_{eau})</i>	Coefficient de migration des chlorures (D_{rcm})	Méthode de base : I_{ca} (test de lixiviation à pH constant) <i>Méthode alternative : Coeff migration chlorures (D_{rcm})</i> (si liant conforme au FD P18-011: 2022 pour XA3 sol acide)
Laboratoire (*)	W	X	Y	Z

(*) Justifie d'un système de management de la qualité, assure la réalisation des essais selon norme ou Mode opératoire, assure la validité des résultats avec des campagnes interlaboratoires (CIL, dont la participation à PerfDuB) sur périmètre considéré avec courrier de validation de l'organisateur du CIL pour le laboratoire (Si COFRAC ou éq., Ok)

Recommandations à l'usage des maîtres d'ouvrages et des maîtres d'oeuvre

GRANDEURS DE DURABILITE (à mesurer après 90 J de cure humide du béton)

INDICATEURS
GENERAUX DE
DURABILITE
(après 28 j de
cure humide)

Classes d'exposition	Méthode de base	Durée	Méthode alternative	Durée	Critères
XC1 / XC2	Vitesse de carbonatation accélérée XP P18-458: 2022	4 mois	Porosité à l'eau NF P 18-459 : 2022	21-28j	Respect de valeurs limites (*) selon classe d'exposition et résistivité du béton.
XC3 / XC4	Vitesse de carbonatation accélérée XP P18-458 : 2022	4 mois	Porosité à l'eau NF P 18-459: 2022 + essai de carbonatation accélérée en qualification	21-28j	Respect de valeurs limites (*) selon classe d'exposition et facteur de vieillissement du béton.
XS / XD	Coefficient de migration des ions chlorures XP P18-462 : 2022 avec ciment PM ou liant conforme FD P18-011 Sinon, justif XA1 sulfates par approche perf en complément		4-7j		Respect de valeurs limites (*) selon classe d'exposition et facteur de vieillissement du béton.
XA sulfates	Protocole RSE par saturation ou par immersion/séchage (modes opératoires PerfDuB)	12 semaines	Coefficient de migration des ions chlorures (XP P18-462 : 2022) avec liant conforme FD P18-011	4-7j	Comparaison avec béton de référence (**)
XA acides / eaux pures	Résistance à la lixiviation à pH constant XP P18-482 : 2022	42 jours	Coefficient de migration des ions chlorures (XP P18-462 : 2022) liant conforme FD P18-011	4-7j	(sauf pour XA3 sulfates avec méthode de base : valeur seuil à respecter).
XA biodégradation	Résistance à la biodétérioration (modes opératoires PerfDuB)		4,5 mois		

Porosité à l'eau
(NF P18-458 : 2022)
ou
% absorption du béton en préfabrication (Annexe F NF EN 13369)
Et
Résistivité électrique du béton (XP P 18-481 : 2022)

NB : Valeurs mesurées en étude servant de critère d'acceptation du béton en convenance et contrôle.

(*) Un coefficient de sécurité est appliqué en étude : Valeurs moyennes < ou = Valeur limite – 3 x écart-type prévisionnel (NB : critère donné pour l'écart-type via un coefficient de variation minimum à respecter par type d'essai), cf. Présentation GT4 pour valeurs limites.
(**) NB : La formule du béton d'étude doit satisfaire à des critères particuliers.

EXEMPLE 1 (PRÉFA) – C25/30 XC1(F)p, 100 ANS

Fiche de synthèse

EXEMPLE 1	Centrale Préfa
	Béton C25/30 (exigences dimensionnement du BE) en XC1 ; formule dérogeant sur la teneur minimale en liant équivalent du Tabl 8B Fasc 65
Appellation normalisée	BPPS NF EN 206/CN C25/30 XC1(F)p D20 S4 Cl0,4
Niveau d'application	N2
Classe(s) d'exposition	XC1p
DUP	100 ans
Indicateurs de durabilité généraux retenus	%Ab _{28j} (béton) Résistivité
Grandeur associée à la durabilité retenue	Vitesse de carbonatation accélérée ($V_{acc, 90j}$)
Laboratoire	W

-> Grandeur de durabilité :
Vitesse de carbonatation accélérée
(Application de la Méthode de base)

Tableau 2 — Seuils de performance (à 50 et 100 ans) sur la base d'essais de carbonatation accélérée

Classe d'exposition	Modulation selon la classe de résistivité à 90 j selon XP P 18-481 ($\Omega.m$)	Vitesse caractéristique de carbonatation accélérée selon XP P 18-458 $V_{acc,k,90j}$ (mm / (jour) ^{0,5})	
		DUP 50 ans	DUP 100 ans
XC1	< 100	4	4
	100 à 175		
	> 175		

En étude : Justification de la durabilité du béton

- $V_{acc,90j}$ (nominale, moyenne sur 3 gâchées) \leq Seuil – 1,5 * écart-type prévisionnel
+ Vérif béton frais, f_{c28j}
+ Détermination des indicateurs généraux

En convenueance : Vérification des indicateurs et de la résistance

- %Ab_{28j}, convenueance, (nominale, moyenne sur 3 gâchées) \leq 1,1 * % Ab_{28j}, étude
 - Résistivité_{28j}, convenueance, (nominale, moyenne sur 3 gâchées) \geq 0,8 * Résistivité_{28j}, étude, (nominale)
- + Vérif béton frais, f_{c28j}

En production : Contrôle courants (pas d'essai de durabilité)

Recommandations à l'usage des maîtres d'ouvrages et des maîtres d'oeuvre

EXEMPLE 1 (PRÉFA) – C25/30 XC1(F)p, 100 ANS

Fiche de synthèse

EXEMPLE 1	Centrale Préfa
	Béton C25/30 (exigences dimensionnement du BE) en XC1 ; formule dérogeant sur la teneur minimale en liant équivalent.
Appellation normalisée	BPPS NF EN 206/CN C25/30 XC1(F)p D20 S4 C10,4
Niveau d'application	N2
Classe(s) d'exposition	XC1p
DUP	100 ans
Indicateurs de durabilité généraux retenus	%Ab _{28j} (béton) Résistivité
Grandeur associée à la durabilité retenue	Cas particulier : Porosité accessible à l'eau (P_{eau, 90j})
Laboratoire	W

-> Grandeur de durabilité :
Porosité accessible à l'eau
(Cas particulier, si béton avec microstructure suffisamment fermée)

Tableau 3 — Seuils de performance (à 50 ans et 100 ans) pour la porosité à l'eau divisée par la fraction volumique de pâte

Classe d'exposition	Modulation selon la classe de résistivité à 90 j selon XP P 18-581 (Ω.m)	Porosité caractéristique accessible à l'eau (selon NF P 18-459)/Fraction volumique de pâte $P_{eau,k,90j} / fV_p$ (%)	
		DUP 50 ans	DUP 100 ans
XC1	< 100	65 %	65 %
	100 à 175		
	> 175		

En étude :

- $P_{eau, 90j} \leq \text{Seuil} * fVp_{\text{formule béton}} - 1,5 * \text{écart-type prévisionnel}$

+ Vérif béton frais, fc_{28j}
+ Détermination des indicateurs généraux

En convenueance :

- $\%Ab_{28j, \text{convenueance (nominale)}} \leq 1,1 * \%Ab_{\text{Etude (28j)}}$
- $\text{Résistivité}_{28j, \text{convenueance (nominale)}} \geq 0,8 * \text{Résistivité}_{28j, \text{étude (nominale)}}$

+ Vérif béton frais, fc_{28j}

En production : Contrôle courants (pas d'essai de durabilité)

Recommandations à l'usage des maîtres d'ouvrages et des maîtres d'oeuvre

DÉTAIL DE L'ÉTUDE POUR L'EXEMPLE 1

EXEMPLE 1 : BPPS NF EN 206/CN C25/30 XC1(F)p D20 S4 Cl0,4

Béton C25/30 (exigences dimensionnement du BE) en XC1 ; formule dérogeant sur la teneur en liant équivalent minimale du Tableau 8B du fascicule 65. Niveau d'application : N1. DUP : 100 ans

Indicateurs généraux de durabilité : % Abs du béton et Résistivité

Grandeur de durabilité : Vitesse de carbonatation accélérée (Méthode de base) ou Porosité accessible à l'eau (Cas particulier)

ETUDE : 3 gâchées avec la formule nominale + Vérification résistance de l'échantillon de ciment utilisé

(Gâchée 1) Temps	10 min	30 min	90 min
Affaissement (mm)	180	180	170

Ciment de l'étude : résistance mortier EN (MPa)	
C_E (mesuré) = 50	C_{min} (fournisseur) = 42,5

N° Gâchée	#1	#2	#3	Moyenne	Critère d'acceptation	Calculs
fc (28j)	35	34	32	33,7 MPa	$\geq f_{ck} + \lambda * (C_E - C_{min})$ $\geq f_{ck} + 2 * S$	$33,7 \geq 25 + 1 * (50 - 42,5) = 32,5 \text{ MPa}$ $33,7 \geq 25 + 2 * 3 = 31 \text{ MPa}$
ρ_{90j}	140	160	150	150 Ohm.m	Oriente le choix des valeurs seuils à respecter pour les grandeurs de durabilité	
$V_{acc, 90j}$	2,5	3,2	2,7	2,8 mm/j^{0,5}	$\leq \text{Valeur seuil (tableau 2)}$ $- 1,5 * \text{écart-type}$ prévisionnel de $v_{acc, 90j}$	$2,8 \leq 4 - 1,5 * 0,65 = 3,025 \text{ mm/j}^{0,5}$ Vérif du Coeff de variation de v_{acc} : $CV = \text{Ecart-type} / \text{Moyenne} = 0,65 / 2,8$ $= 23,2\% > 20\%$ (tableau 13) -> Ok
ρ_{28j}	120	150	130	133,3 Ohm.m --> 130 Ohm.m	Pas de critère d'acceptation en étude ; ces valeurs serviront pour acceptation du béton en convenance	
%Ab_{eau, 28j}	6,1	5,8	6,5	6,1%		

Recommandations à l'usage des maîtres d'ouvrages et des maîtres d'oeuvre

DÉTAIL DE L'ÉTUDE POUR L'EXEMPLE 1

EXEMPLE 1 : BPPS NF EN 206/CN C25/30 XC1(F)p D20 S4 CI0,4
 Béton C25/30 (exigences dimensionnement du BE) en XC1 ; formule dérogeant sur la teneur en liant équivalent minimale du Tableau 8B du fascicule 65. Niveau d'application : N1. DUP : 50 ans
 Indicateurs généraux de durabilité : % Abs du béton et Résistivité
 Grandeur de durabilité : Vitesse de carbonatation accélérée (Méthode de base) ou Porosité accessible à l'eau (Cas particulier)

ETUDE : 3 gâchées avec la formule nominale + Vérification résistance de l'échantillon de ciment utilisé

(Gâchée 1) Temps	10 min	30 min	90 min
Affaissement (mm)	180	180	170

Ciment de l'étude : résistance mortier EN (MPa)	
C_E (mesuré) = 50	C_{min} (fournisseur) = 42,5

N° Gâchée	#1	#2	#3	Moyenne	Critère d'acceptation	Calculs
fc (28j)	35	34	32	33,7 MPa	$\geq f_{ck} + \lambda * (C_E - C_{min})$ $\geq f_{ck} + 2 * S$	$33,7 \geq 25 + 1 * (50 - 42,5) = 32,5 \text{ MPa}$ $33,7 \geq 25 + 2 * 3 = 31 \text{ MPa}$
ρ_{90j}	140	160	150	150 Ohm.m	Oriente le choix des valeurs seuils à respecter pour les grandeurs de durabilité	
$P_{eau, 90j}$ (Cas particulier)	17	16,5	17,4	17 %	$\leq \text{Valeur seuil (tableau 3)} * f_{Vp}$ $- 1,5 * \text{écart-type prévisionnel de } P_{eau}$	$17 \leq 65 * 0,32 - 1,5 * 0,8 = 19,6 \%$ Vérif du Coeff de variation de P_{eau} : $CV = \text{Ecart-type} / \text{Moyenne} = 0,8 / 17$ $= 4,7\% > 3\%$ (tableau 13) -> Ok
ρ_{28j}	120	150	130	133,3 Ohm.m --> 130 Ohm.m	Pas de critère d'acceptation en étude ; ces valeurs serviront pour acceptation du béton en convenance	
%Ab_{eau, 28j}	6,1	5,8	6,5	6,1%		

Recommandations à l'usage des maîtres d'ouvrages et des maîtres d'oeuvre

EXEMPLE 2 (BPE) – C25/30 XC4(F)p, 100 ANS

Fiche de synthèse

	Centrale BPE
Exemple 2	Béton C25/30 (classe minimale de la classe d'exposition visée) en XC4 ; formule dérogeant sur la teneur minimale en liant équivalent.
Appellation normalisée	BPPS NF EN 206/CN C25/30 XC4(F)p D20 S4 C10,4
Niveau d'application	N3
Classe(s) d'exposition	XC4p
DUP	100 ans
Indicateurs de durabilité généraux retenus	Porosité à l'eau (P_{eau}) Résistivité (ρ_{28j})
Grandeur associée à la durabilité retenue	Vitesse de carbonatation accélérée ($V_{carbo\ acc}$)
Laboratoire	X

-> Grandeur de durabilité :
Vitesse de carbonatation accélérée
(Application de la Méthode de base)

Tableau 2 — Seuils de performance (à 50 et 100 ans) sur la base d'essais de carbonatation accélérée

Classe d'exposition	Modulation selon la classe de résistivité à 90 j selon XP P 18-481 ($\Omega.m$)	Vitesse caractéristique de carbonatation accélérée selon XP P 18-458 $V_{acc,k,90j}$ (mm / (jour) ^{0,5})	
		DUP 50 ans	DUP 100 ans
XC4	< 100	1,8	1,8
	100 à 175	2,2	2,2*
	> 175	3*	2,2*

* Les valeurs avec astérisque sont liées à un enrobage supérieur à celui correspondant à la classe XC3 et à une forte résistivité du béton qui freine la propagation de la corrosion.

En étude :

- $V_{acc,90j}$ (nominale, moyenne sur 3 gâchées) \leq Seuil – 1,5 * écart-type prévisionnel
- $V_{acc,90j}$ (dérivées) \leq Seuil pour formules dérivées (NB : dérivées en eau obligatoires)

+ Vérif béton frais, f_{c28j}
+ Détermination des indicateurs généraux

En convenueance et production :

- Vérification du béton frais et f_{c28j}
- $\%P_{eau\ 28j}$, convenueance (nominale) $\leq 1,1^* \%P_{eau\ 28j}$, étude (nominale)
- Résistivité $_{28j}$, convenueance (nominale) $\geq 0,8^* Résistivité_{28j}$, étude (nominale)

Recommandations à l'usage des maîtres d'ouvrages et des maîtres d'oeuvre

EXEMPLE 2 (BPE) – C25/30 XC4(F)p, 100 ANS

Fiche de synthèse

	Centrale BPE
Exemple 2	Béton C25/30 (classe minimale de la classe d'exposition visée) en XC4 ; formule dérogeant sur la teneur minimale en liant équivalent.
Appellation normalisée	BPPS NF EN 206/CN C25/30 XC4(F)p D20 S4 C10,4
Niveau d'application	N3
Classe(s) d'exposition	XC4p
DUP	50 ans
Indicateurs de durabilité généraux retenus	Porosité à l'eau (P_{eau}) Résistivité (ρ_{28j})
Grandeur associée à la durabilité retenue	Porosité accessible à l'eau (P_{eau})
Laboratoire	X

-> Grandeur de durabilité : Porosité accessible à l'eau
(Application de la méthode alternative dans le cas particulier d'un béton avec microstructure assez fermée)

Tableau 3 — Seuils de performance (à 50 ans et 100 ans) pour la porosité à l'eau divisée par la fraction volumique de pâte

Classe d'exposition	Modulation selon la classe de résistance à 90 j selon XP P 18-581 ($\Omega.m$)	Porosité caractéristique accessible à l'eau (selon NF P 18-459)/Fraction volumique de pâte $P_{eau,90j} / fV_p$ (%)	
		DUP 50 ans	DUP 100 ans
XC4	< 100	50 %	50 %
	100 à 175	55 %	50 %
	> 175	65 % *	55 % *

* Les valeurs avec astérisque sont liées à un enrobage supérieur à celui correspondant à la classe XC3 et à une forte résistivité du béton qui freine la propagation de la corrosion.

En étude :

- $P_{eau, 90j}$ (nominale, moyenne sur 3 gâchées) \leq Seuil * $fV_{p, formule\ béton} - 1,5 *$
écart-type prévisionnel
- $V_{acc, 90j}$ (nominale, 1 gâchée) $\leq 0,08 * P_{eau, 90j}$ (nominale, 1 gâchée) / $fV_p - 2,2$
- $P_{eau, 90j}$ (dérivées) \leq Seuil * $fV_{pbéton}$
(NB : dérivées en eau obligatoires)

+ Vérif béton frais, fc_{28j}
+ Détermination des indicateurs généraux

En convenance et production :

- Vérification du béton frais et fc_{28j}
- $\%P_{eau, 28j}$, Convenance (nominale) $\leq 1,1 * \% P_{eau, 28j}$, étude (nominale)
- Résistivité $_{28j}$, convenance (nominale) $\geq 0,8 * Résistivité_{28j}$, étude (nominale)

Recommandations à l'usage des maîtres d'ouvrages et des maîtres d'oeuvre

EXEMPLE 3 (BPE) – C40/50 XS3(F)p, 100 ANS

Fiche de synthèse

Centrale BPE	
Exemple 3	Béton C40/50 pour XS3(e) avec combinaison ciment (hors CEM I) + addition (hors calcaire) pour minorer d'une classe structurale (enrobage)
Appellation normalisée	BPPS NF EN 206/CN C40/50 XS3(F)p D20 S3 C10,4
Niveau d'application	N3
Classe(s) d'exposition	XS3(e)p
DUP	100 ans
Indicateurs de durabilité généraux retenus	Porosité à l'eau Résistivité
Grandeur associée à la durabilité retenue	Coeff migration chlorures ($D_{rcm, 90j}$) car utilisation d'un ciment PM
Laboratoire	Y

Tableau A.3 — Seuils de performance (à 50 et 100 ans) permettant la minoration d'une classe structurale sur la base d'un essai de migration des chlorures

Classe d'exposition	Modulation selon la classe de facteur de vieillissement	Coefficient caractéristique de migration des ions chlorure selon XP P 18-462 $D_{rcm,k,90j}$ ($\times 10^{-12} m^2/s$)	
		DUP 50 ans	DUP 100 ans
XS3e	0.30 à 0.39	3	3
	0.40 à 0.49	5	5
	0.50 à 0.59	9	9
	0.60 et plus	16	16

Selon composition du liant (type et % additions)

XS3e : éléments de structure exposés aux embruns lorsqu'ils sont situés à moins de 100 m de la côte, parfois plus, jusqu'à 500 m, suivant la topographie particulière (XS3e)

XS3m : éléments de structures en zone de marnage ou de projections

En étude :

- $D_{rcm, 90j}$ (nominale, moyenne sur 3 gâchées) \leq Seuil – 1,5 * écart-type prévisionnel
- $D_{rcm,90j}$ (dérivées) \leq Seuil pour formules dérivées (NB : dérivées en eau obligatoires)

+ Vérif béton frais, f_{c28j}
+ Détermination des indicateurs généraux

En convenance et production :

- Vérification du béton frais et f_{c28j}
- $\%P_{eau\ 28j, convenance\ (nominale)} \leq 1,1 * \% P_{eau\ 28j, étude\ (nominale)}$
- Résistivité $_{28j, convenance\ (nominale)} \geq 0,8 * Résistivité_{28j, étude\ (nominale)}$
- $D_{rcm, 90j}$ (nominale) \leq Seuil (convenance) ou 1,3*Seuil (contrôle)

Recommandations à l'usage des maîtres d'ouvrages et des maîtres d'oeuvre

EXEMPLE 4 (PRÉFA)– C35/45 XA3(F)p (SOL ACIDE), 100 ANS

Fiche de synthèse

	Centrale Préfa
Exemple 4	Béton C35/45 pour XA3 (sol acide) avec granulats dérogeant sur exigence de WA maximale.
Appellation normalisée	BPPS NF EN 206/CN C35/45 XA3(F)p D22,4 S4 Cl0,4
Niveau d'application	N3
Classe(s) d'exposition	XA3p (sol acide)
DUP	100 ans
Indicateurs de durabilité généraux retenus	%Ab (béton) Résistivité
Grandeur associée à la durabilité retenue	Profondeur de lixiviation I_{Ca} (test de lixiviation à pH constant) Ou Coeff migration chlorures ($D_{rcm,90j}$) Cas particulier si liant conforme au FD P18-011: 2022 pour XA3 sol acide
Laboratoire	Z

Grandeur de durabilité : I_{Ca}

En étude : cf. Tableau 9

- I_{Ca} (nominale, 1 gâchée) $\leq I_{Ca}$, Béton de référence (CEM V/A ES)

En convenance et production :

- $\%P_{\text{eau } 28j, \text{ convenance}} \leq 1,1 * \%P_{\text{eau } 28j, \text{ étude (nominale)}}$
- **Résistivité** $_{28j, \text{ convenance (nominale)}} \geq 0,8 * \text{Résistivité}_{28j, \text{ étude (nominale)}}$

+ Vérif béton frais, fc_{28j}
+ Détermination des indicateurs généraux

Grandeur de durabilité : Coefficient de migration des chlorures

(Cas particulier car liant conforme au FD P18-011: 2022 pour XA3 sol acide)

En étude : cf. Tableau 10

- $D_{rcm, 90j}$ (nominale, 1 gâchée) $\leq D_{rcm, 90j}$ (béton de référence, CEM V/A ES)

En convenance et production :

- Vérification du béton frais et fc_{28j}
- $\%P_{\text{eau } 28j, \text{ convenance (nominale)}} \leq 1,1 * \%P_{\text{eau } 28j, \text{ étude (nominale)}}$
- **Résistivité** $_{28j, \text{ convenance (nominale)}} \geq 0,8 * \text{Résistivité}_{28j, \text{ étude (nominale)}}$

+ Vérif béton frais, fc_{28j}
+ Détermination des indicateurs généraux

Recommandations à l'usage des maîtres d'ouvrages et des maîtres d'oeuvre

EXEMPLE DE RÉDACTION DU CCTP

Les bétons des parties d'ouvrage pour lesquelles des classes d'exposition sont spécifiées avec l'indication du suffixe « p », renvoyant à une justification par approche performantielle, sont à justifier suivant le fascicule de documentation FD P18-480 selon le niveau d'application N3 correspondant à une durée d'utilisation de projet de 100 ans.

Pour l'application du fascicule 65, les spécifications relatives à l'application de la méthode performantielle sont à remplacer par celles du FD P18-480 associées au niveau N3 d'application de cette méthode et à la durée d'utilisation de projet de 100 ans.

EXEMPLE DE TABLEAU DE DÉFINITION DES BÉTONS INCLUANT L'APPROCHE PERFORMANTIELLE (SELON CLAUSE A DÉFINIE CI-AVANT)

Partie d'ouvrage	Classe d'exposition	Type de béton	Classe de résistance caractéristique minimale en compression à 28 jours	Niveau de prévention RAG	Niveau de prévention RSI	Nature du ciment *	Prescriptions complémentaires
Tablier précontraint	XC4/XF1 (F)	BP	C40/50	B	Bs	CP1 ou CP2	A justifier par approche performantielle

* : caractéristiques complémentaires (PM, ES, SR, CP1 ou CP2)

INTÉRÊTS POSSIBLES DE L'APPROCHE PERFORMANTIELLE

- Résolution de cas où les **exigences de moyens** sont **difficilement compatibles** (exemple : pièces massives en béton de type G+S avec problématique RSI)
- Minimisation de l'**empreinte environnementale** de l'ouvrage
- Réduction des **valeurs d'enrobage** minimal (abaissement des classes structurales selon l'Eurocode 2)
- Justification d'utilisation de **granulats locaux non-conformes aux règles usuelles** de formulation dans l'environnement considéré (exemple : granulats présentant des absorptions d'eau supérieures à 2,5% en classe XA3)
- Utilisation d'un **taux supérieur de granulats de béton recyclés**
- **Optimisation de formulation de béton** avec un ciment combiné avec deux additions (le concept de liant équivalent ne permet la prise en compte que d'une seule addition)

Recommandations à l'usage des maîtres d'ouvrages et des maîtres d'oeuvre

CONTRAINTES ASSOCIÉES

- **Délai de réponse de certains essais :**
(28 ou 90 j) + (3 à 45 j) *soit 1 à 4,5 mois*
Maîtrise de la relation formulation/durabilité (base de données AFGC)
- **Prise en compte de la démarche dans le PAQ** de l'opération
(compétences, moyens, modes opératoires d'essai, contrôles...)
- Intérêt de disposer de **formules locales préqualifiées**
*concept de références probantes d'emploi disposant
de mesures des indicateurs*

CONTRAINTES ASSOCIÉES

UN OUTIL CONTRAIGNANT MAIS QUI PEUT ETRE BENEFIQUE.

Selon le cas,

- **Intérêt technique**
- **Intérêt environnemental**
- **Intérêt économique**

Merci pour votre attention

Recommandations à l'usage des maîtres d'ouvrages et des maîtres d'oeuvre

LES NOUVEAUTES CIMENTS

Recommandations à l'usage des maîtres d'ouvrages et des maîtres d'oeuvre



→ La voie Process

- Matières et Combustibles alternatifs
- Efficacité énergétique
- Capture du carbone et séquestration

→ La voie « Produit »

- Taux de clinker des ciments
- Nouveaux constituants
- Synergie entre constituants
- Evolutions normatives

LA VOIE "PRODUIT"

EUROPEAN STANDARD
NORME EUROPÉENNE
EUROPÄISCHE NORM

ICS 91.100.10

English Version
Cement - Part 1: Composition, conformity criteria for con

EUROPEAN STANDARD
NORME EUROPÉENNE
EUROPÄISCHE NORM

ICS 91.100.10

English Version
Cement - Part 5: Portland-composite and Composite cement

Cement - Part 5: Cement Portland composite CEM II/C-
M et Ciment composé CEM II

This European Standard was approved by CEN on 8 February 2021.

CEN members are bound to comply with the CEN/CENELEC Internal Regulations. European Standard status of a national standard without any alteration, upon agreement with national standards may be obtained on application to the CEN member.

This European Standard exists in three official versions (English, French, German) under the responsibility of a CEN member into its own language and the Centre has the same status as the official versions.

CEN members are the national standards bodies of Austria, Belgium, Bulgaria, Czech Republic, Denmark, Finland, France, Germany, Greece, Hungary, Iceland, Ireland, Italy, Latvia, Lithuania, Luxembourg, Malta, Netherlands, Norway, Poland, Portugal, Romania, Serbia, Slovakia, Slovenia, Spain, Sweden, Switzerland, Turkey and United Kingdom.

DOCUMENT PROTÉGÉ PAR LE DROIT D'AUTEUR

Droits de reproduction réservés. Toute réimpression ou utilisation sous quelque forme que ce soit et par aucun procédé, électronique ou mécanique, y compris la photocopie et les microfilms, sans accord formel.

Contact: AFNOR - Norm'Info 11, rue Francis de Pressensac 93371 La Plaine Saint-Denis Cedex Tél: 01 41 62 76 44 Fax: 01 48 37 62 00 E-mail: norminfo@afnor.org

afnor

EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION
COMITÉ EUROPÉEN DE NORMALISATION
EUROPÄISCHE KOMITEE FÜR NORMUNG

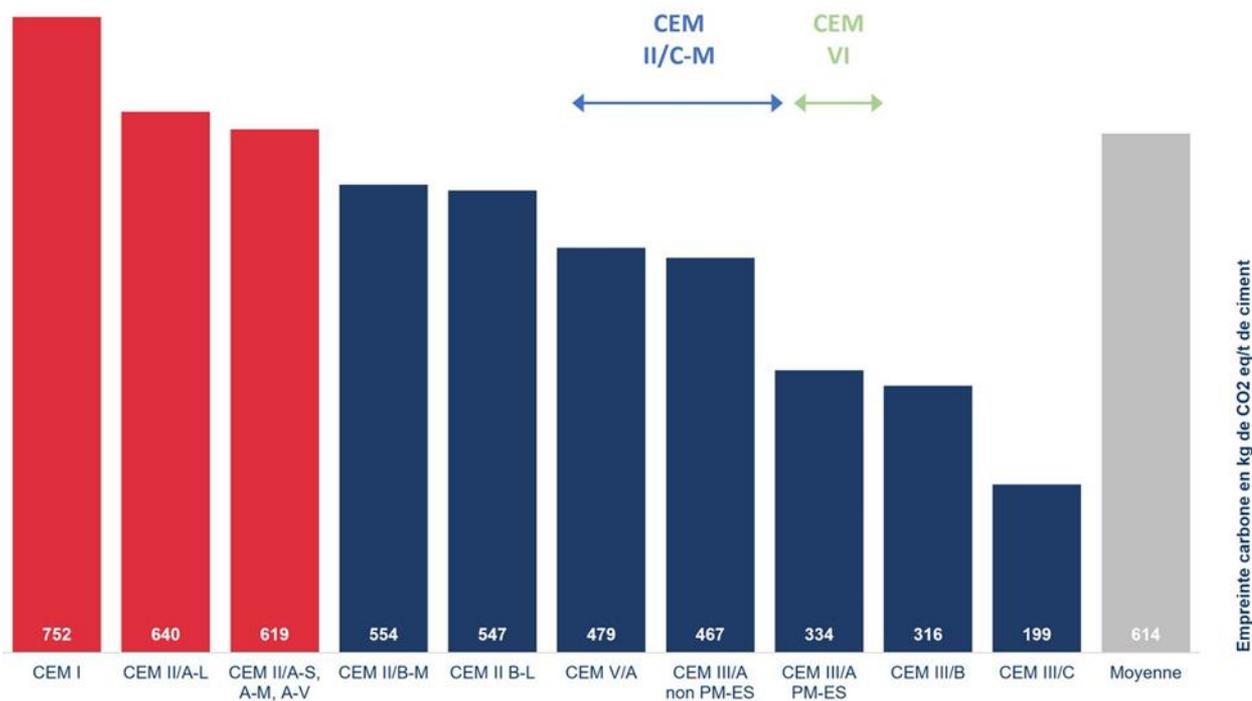
CEN-CENELEC Management Centre: Rue de la Science 23, B-1049 Brussels

© 2021 CEN All rights of exploitation in any form and by any means reserved worldwide for CEN national Members. Ref. No. EN 197-6:2021 E

CEN/TC 51
Date: 2021-10
EN 197-6:2021
CEN/TC 51
Secretariat: NBN
Cement — Part 6: Cement with recycled building materials
Zement — Teil 6: Zement mit rezyklierten Baustoffen
Ciment — Partie 6 : Ciment avec des matériaux de construction recyclés
ICS:
Descriptors:

Recommandations à l'usage des maîtres d'ouvrages et des maîtres d'oeuvre

L'EMPREINTE CARBONE DES CIMENTS

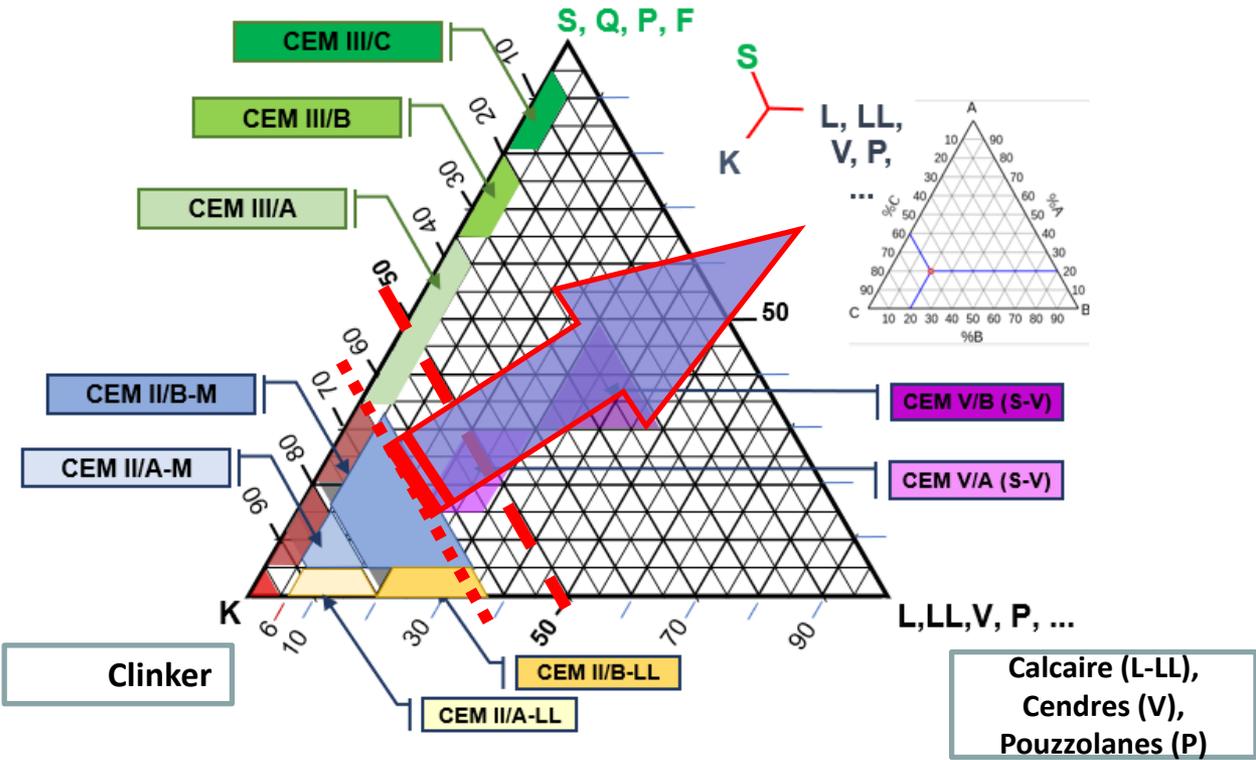


Source : moyenne SFIC pour les ciments français, en conformité avec la norme NF EN 15804+A2 et son complément national NF EN 15804+A2/CN.

Recommandations à l'usage des maîtres d'ouvrages et des maîtres d'oeuvre

LES CIMENTS À BASSE EMPREINTE CARBONE

Laitier (S), Pouzzolane (Q),
Argile Calcinée (P), Fumée
de silice (D)



Recommandations à l'usage des maîtres d'ouvrages et des maîtres d'oeuvre

L'INTÉGRATION DE NOUVEAUX CIMENTS (1/2)

La norme nhEN197-5 qui propose deux nouveaux types de ciment:

- les **CEM II/C-M** et les **CEM VI**
- Ces ciments combinent des constituants classiques (laitiers, cendres, calcaires) en proportions encore inutilisées dans la norme NF EN197-1
- Ces ciments présentent des taux de clinker réduits par rapport aux ciments courants, hors CEM III /B & C et CEM V/A & B
- Ils présentent donc une empreinte carbone réduite par rapport aux ciments courants
- Les ciments de type « LC³ » sont compatibles avec les CEM II/C-M moyennant ajustement de composition
- Des limites sur les proportions de calcaire (L, LL) – 6 à 20% - et de fumée de silice (D) - 6 à 10%
- Enfin, **les ciments couverts par la norme NF EN 197-5 ne peuvent bénéficier du marquage CE**, la norme NF EN 197-5 n'étant pas harmonisée, ils devront respecter les critères de la **certification NF Liants Hydrauliques**.

L'INTÉGRATION DE NOUVEAUX CIMENTS (2/2)

Tableau 1 — Ciment Portland composé CEM II/C-M et ciment composé CEM VI

Principaux types	Notation des produits (types de ciments)		Composition (pourcentage en masse ^a)										Constituants secondaires
			Constituants principaux										
			Clinker	Laitier de haut fourneau	Fumée de silice	Pouzzolane		Cendre volante		Schiste calciné	Calcaire		
						Naturelle	Naturelle calcinée	Siliceuse	Calcique				
Nom	Notation	K	S	D ^b	P	Q	V	W	T	L ^c	LL ^c		
CEM II	Ciment Portland composé ^d	CEM II/C-M	50-64	←----- 36-50 -----→								0-5	
CEM VI	Ciment composé	CEM VI (S-P)	35-49	31-59	-	6-20	-	-	-	-	-	-	0-5
		CEM VI (S-V)	35-49	31-59	-	-	-	6-20	-	-	-	-	0-5
		CEM VI (S-L)	35-49	31-59	-	-	-	-	-	-	6-20	-	0-5
		CEM VI (S-LL)	35-49	31-59	-	-	-	-	-	-	-	6-20	0-5

^a Les valeurs indiquées dans le tableau se réfèrent à la somme des constituants principaux et secondaires.

^b En cas d'utilisation de fumée de silice, la proportion de fumée de silice est limitée entre 6 % et 10 % en masse.

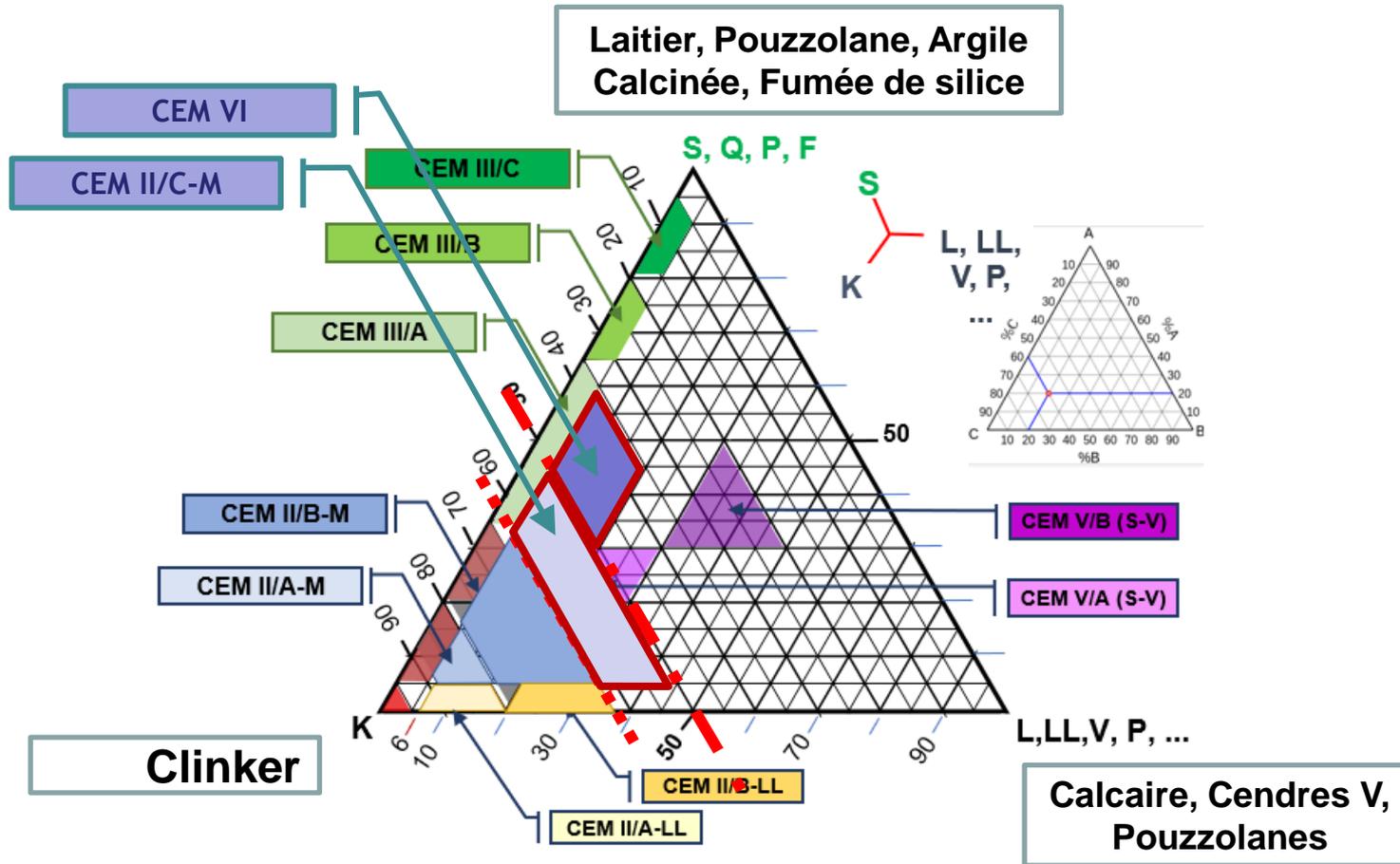
^c En cas d'utilisation de calcaire, la proportion de calcaire (somme de L et LL) est limitée entre 6 % et 20 % en masse.

^d Le nombre de constituants principaux autres que le clinker est limité à deux et ceux-ci doivent être déclarés dans la désignation du ciment (voir des exemples à l'Article 6).



ATTENTION: Ces ciments sont définis par une norme non harmonisée, ils ne sont pas certifiés CE. Ils doivent donc faire l'objet d'une certification nationale NF-002 Liants Hydrauliques

DIAGRAMME DE COMPOSITION



Recommandations à l'usage des maîtres d'ouvrages et des maîtres d'oeuvre

ET DEMAIN ? (nhEN197-6: Fines de Béton Recyclé (F))

Table 1 — Cement with recycled concrete fines

Main types	Notation of the products (types of cement)		Composition (percentage by mass) ^a												
			Clinker	Recycled concrete fines	Blast-furnace slag	Silica fume	Main constituents						Minor additional constituents		
							Pozzolana		Fly ash		Burnt shale	Limestone			
							natural	natural calcined	siliceous	calcareous					
Type name	Type notation	K	F	S	D ^b	P	Q	V	W	T	L ^c	LL ^c			
CEM II	Portland-recycled-fines cement	CEM II/A-F	80-94	6-20	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0-5	
		CEM II/B-F	65-79	21-35	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0-5	
	Portland-composite cement ^d	CEM II/A-M	80-88	6-14	←----- 6-14 ----->										0-5
		CEM II/B-M	65-79	6-29	←----- 6-29 ----->										0-5
		CEM II/C-M	50-64	6-20	←----- 16-44 ----->										0-5
CEM VI	Composite cement	CEM VI	35-49	6-20	31-59	—	—	—	—	—	—	—	—	0-5	

^a The values in the table refer to the sum of the main and minor additional constituents.

^b In case of the use of silica fume, the proportion of silica fume is limited to 6 % to 10 % by mass.

^c In case of the use of limestone, the proportion of the sum of limestone and recycled concrete fines (sum of L, LL and F) is limited to 35 % by mass.

^d The number of main constituents other than clinker is limited to two and these main constituents shall be declared by designation of the cement (for examples, see Clause 6). In case of the use of both F and (L or LL) in the composition, the number of main constituents other than clinker is limited to three and these main constituents shall be declared by designation of the cement.

Recommandations à l'usage des maîtres d'ouvrages et des maîtres d'oeuvre

LES CIMENTS : LES ÉVOLUTIONS SUR LEURS UTILISATIONS (1/2)

Nouvelle répartition des familles de ciments fonction des valeurs limites de la classe d'exposition de l'ouvrage : **colonne A ou colonne B / Utilisation des tableaux NA.F.**

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	<ul style="list-style-type: none"> -CEM I -CEM II/A -CEM II/B -CEM III/A (teneur en laitier \leq 50%) -CEM IV/A -CEM V/A 	<ul style="list-style-type: none"> CEM III/A (teneur en laitier supérieure à 50%) CEM III/B CEM III/C CEM IV/B CEM V/B

Recommandations à l'usage des maîtres d'ouvrages et des maîtres d'oeuvre

LES CIMENTS : LES ÉVOLUTIONS SUR LEURS UTILISATIONS (2/2)

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	<p>-CEM II / C – M (à l'exclusion de ceux uniquement composés de constituants pouzzolaniques D, P, Q, V et W)</p> <p>Ciment prompt Ciment à usage tropical (à l'exclusion des CEM IV/B)</p>	<p>- CEM II / C – M (ciments ternaires uniquement composés de constituants pouzzolaniques D, P, Q, V et W)</p> <p>- CEM VI</p> <p>SSC (Ciments Sur-Sulfatés) Ciments à usage tropical CEM IV/B</p>

NF EN 206+A2/CN (2022)
NOUVELLE ANNEXE NATIONALE
ET ÉVOLUTIONS NORMATIVES ASSOCIÉES

OCTOBRE 2022



+ cas des bétons d'ingénierie

Recommandations à l'usage des maîtres d'ouvrages et des maîtres d'oeuvre

LES CIMENTS : LES ÉVOLUTIONS SUR LEURS UTILISATIONS

Exemple des changements occasionnés avec des valeurs plus exigeantes pour E/C et classe de résistance mécanique mini pour les classes d'exposition (XC3/XC4/XD1/XF1)

→ Pour ciment de la colonne A :

<i>Extrait Tableau NA.F.1</i>	X0	XC1	XC2	XC3	XC4
Rapport Eeff/ Liant éq. Maximal		0,65	0,65	0,6	0,6
Classe de résistance minimale		C20/25	C20/25	C25/30	C25/30
Teneur mini en liant éq (kg/m ³)	150	260	260	280	280

→ Pour ciment de la colonne B :

<i>Extrait Tableau NA.F.3</i>	X0	XC1	XC2	XC3	XC4
Rapport Eeff/ Liant éq. Maximal		0,65	0,65	0,55	0,55
Classe de résistance minimale		C20/25	C20/25	C30/37	C30/37
Teneur mini en liant éq (kg/m ³)	150	260	260	280	280

Recommandations à l'usage des maîtres d'ouvrages et des maîtres d'oeuvre

Merci de votre attention

SPECIFICITES DES BETONS INCORPORANT DES GRANULATS RECYCLES



Les enjeux en lien avec la gestion des déchets et la préservation des ressources conduit au développement du recyclage des matériaux issus d'opérations de déconstruction, de construction ou d'aménagement.

Les granulats recyclés issus en particulier de bétons provenant de la déconstruction d'ouvrages sont majoritairement valorisés et de plus en plus recyclés après traitement (concassage, criblage, tri complémentaire,...) en technique routière à l'état granulaire (couches de forme, couches d'assises, etc.) ou en tant que constituant pour les bétons y compris ceux destinés aux structures.

Le béton déconstruit et trié, séparé des autres fractions minérales, représente environ 20 Mt par an soit environ 20% de la production annuelle de béton en BTP.

En fonction des dispositions applicables aux ouvrages en béton considérés, des granulats recyclés peuvent être incorporés aux formulations. Les bétons et les produits en béton ainsi fabriqués contribuent à la préservation des ressources naturelles.

LE PROJET NATIONAL RECYBETON



Un projet collaboratif avec un programme de recherche pour favoriser le recyclage du béton dans le béton (réutilisation de l'intégralité des matériaux issus de la déconstruction), réunissant 47 partenaires.

2012 - 2017

Budget : 4,8 M€ HT

Le Projet National RECYBETON a permis d'améliorer l'expertise et la connaissance sur l'utilisation des granulats recyclés pour la formulation des bétons dans une logique de préservation des gisements naturels

Les dispositions normalisées ont bénéficié notamment des avancées techniques du projet national RECYBETON pour l'actualisation de la norme NF EN 206/CN et de l'annexe nationale de la norme NF EN 1992-1-1 en permettant par exemple d'augmenter significativement le taux d'incorporation des granulats recyclés dans les bétons ou l'utilisation de granulats recyclés dans les bétons précontraints.

LE PROJET NATIONAL RECYBETON



La filière béton s'est fortement mobilisée au sein du Projet National de recherche et développement « RECYBETON » qui avait pour objectifs de parvenir au recyclage complet des matériaux issus des bétons de déconstruction et permettre la réalisation d'ouvrages encore plus vertueux

Les recherches visaient à :

- Réutiliser l'intégralité des matériaux issus des bétons de déconstruction, comme constituants de nouveaux bétons
- Recycler aussi ces matériaux comme matière première pour la production de ciments (clinker et ciments composés)

Le projet national RECYBETON a permis des avancées dans les normes.

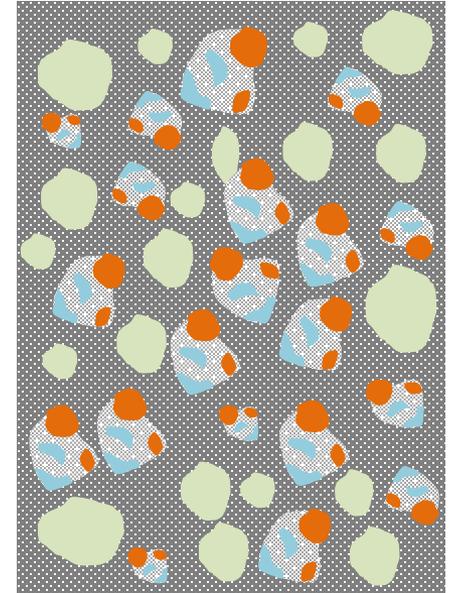
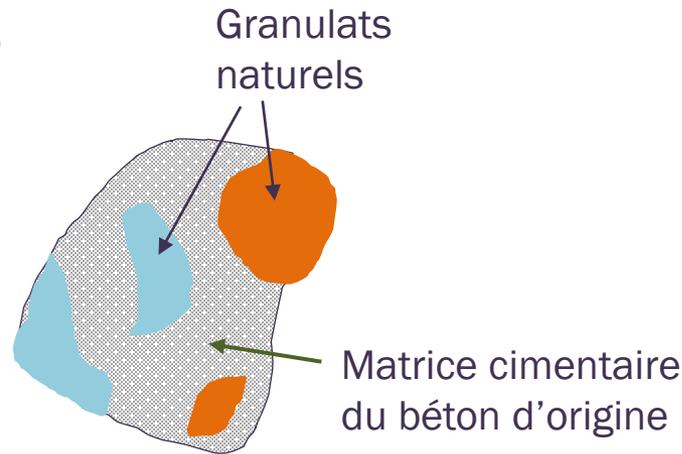
PRINCIPAUX TEXTES NORMATIFS

La norme **NF EN 206+A2/CN** contient des dispositions relatives à l'utilisation de granulats recyclés issus de la déconstruction pour la formulation des bétons en précisant **les conditions et les limites d'utilisation**

Il conviendra de se référer aux dispositions des **annexes nationales des normes de la série NF EN 1992** (y compris leurs amendements) pour le dimensionnement des structures incorporant des granulats recyclés (se référer notamment à la classe de taux de substitution de granulats recyclés et à leur type)

Fascicule 65 (en cours de révision)

Granulats recyclés



Comparativement à des granulats naturels courants :

- moins de roche, présence d'une matrice cimentaire
- présence possible d'autres matériaux issus de la déconstruction
- en général une variabilité plus élevée
- porosité et absorption d'eau plus élevées
- plus d'échanges hydriques à l'état frais et durci
- résistance mécanique, module plus faibles

LA NORME NF EN 206+A2/CN

La norme NF EN 206+A2/CN prévoit l'utilisation de granulats recyclés issus de la déconstruction pour la fabrication des bétons destinés aux structures en précisant les conditions et les limites d'utilisation (articles NA.5.1.3 Granulats).

Les granulats recyclés doivent :

- Etre obtenus par traitement de **matériaux minéraux auparavant utilisés en construction** tels les granulats issus de la déconstruction de béton
- Etre **conformes aux normes** relatives aux granulats (NF EN 12620+A1 et NF P 18-545)

3 types de gravillons recyclés sont définis en fonction de leurs caractéristiques :

- **Type 1** : toutes les caractéristiques sont CR_B
- **Type 2** : toutes les caractéristiques sont CR_B ou CR_C
- **Type 3** : toutes les caractéristiques sont CR_B ou CR_C ou CR_D



Seuls les **gravillons de type 1 et 2** peuvent être utilisés pour des **applications structurelles** ou la réalisation de **granulats de prémélanges**

LA NORME NF EN 206+A2/CN

Parmi les différentes caractéristiques à prendre en compte pour établir l'aptitude à l'emploi des gravillons et des sables recyclés, celles présentées ici sont par exemple relatives à la constitution des gravillons recyclés qu'ils soient ou non utilisés via des granulats de prémélange

Code	Constituants principaux catégorie NF EN 12620 + A1	Constituants secondaires			
		Catégories NF EN 12620 + A1			
CR _B	Rcu95	Rb ₁₀₋	Ra ₁₋	XRg _{0.5-}	FL ₀₋₂₋
CR _C	Rcu90	Rb ₁₀₋	Ra ₁₋	XRg ₁₋	FL ₂₋
CR _D	Rcu70	Rb ₃₀₋	Ra ₁₀₋	XRg ₂₋	FL ₂₋



LA NORME NF EN 206+A2/CN

Constituants principaux et secondaires à quantifier :

- Rc : béton, mortier, élément de maçonnerie en béton contenus dans un granulat recyclé
- Ru : granulats non liés, pierre naturelle, granulats traités aux liants hydraulique contenus dans un granulat recyclé
- $R_{cu} = R_c + R_u$
- Rg : verres contenus dans un granulat recyclé
- Ra : matériau bitumineux contenu dans un granulat recyclé
- Rb : éléments en argile cuite (briques, tuiles), éléments en silicate de calcium, béton cellulaire non flottant contenus dans un granulat recyclé
- X : argiles, sols, métaux, bois, plastiques, caoutchouc, plâtre contenu dans un granulat recyclé
- FL : matériau flottant (exprimé en volume) contenu dans un granulat recyclé

LA NORME NF EN 206+A2/CN

Des pourcentages massiques maximaux d'introduction de granulats recyclés selon les **classes d'exposition considérées** et le **type de gravillon recyclé** (% de la masse de gravillon - respectivement de sable - recyclé rapportée à la masse totale de gravillons - respectivement de sables)

TYPE 1 et sable

	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_{ff}/L_{eq} max abaissé de 0,05 ^c	/	E_{ff}/L_{eq} max abaissé de 0,05 ^c	/	E_{ff}/L_{eq} max abaissé de 0,05 ^c	/	E_{ff}/L_{eq} max abaissé de 0,05 ^c	/	E_{ff}/L_{eq} max abaissé de 0,05 ^c	/	E_{ff}/L_{eq} max abaissé de 0,05 ^c	

Type 2 et sable

	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_{ff}/L_{eq} max abaissé de 0,05 ^c	/	E_{ff}/L_{eq} max abaissé de 0,05 ^c	/	E_{ff}/L_{eq} max abaissé de 0,05 ^c	/	E_{ff}/L_{eq} max abaissé de 0,05 ^c	/	E_{ff}/L_{eq} max abaissé de 0,05 ^c	/	E_{ff}/L_{eq} max abaissé de 0,05 ^c	

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

bA 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

LE FASCICULE 65 (2017)

Le Fascicule 65 « Exécution des ouvrages de génie Civil en béton » spécifie dans son chapitre 8 « Bétons et opérations de bétonnage paragraphe 8.1.2 (Constituants des bétons et mortiers) les possibilités d'emploi des granulats recyclés (Article 8.1.2.2 Granulats)

Extrait : Les gravillons recyclés de type 1 (selon NF EN 206/CN) issus de la déconstruction d'ouvrages d'art et dont la traçabilité est assurée peuvent être utilisés pour des bétons de classe de résistance inférieure à C35/45 en classe XC1, XC2, XC3, XC4 ou XF1 avec un taux maximum de substitution de 20 %



A l'initiative du Maître d'Ouvrage ou du rédacteur du CCTP en accord avec le Maître d'Ouvrage, il est possible d'aller au-delà des dispositions prévues sous réserve d'étudier l'utilisation de bétons contenant des granulats recyclés au-delà des pratiques reconnues comme des techniques courantes.

LA NORME NF EN 206+A2/CN, L'EUROCODE 2 ET SES DISPOSITIONS NATIONALES

Des classes de taux de substitution en granulats recyclés sont définies allant de R0 à R7 pour les bétons contenant plus de 1 % de granulats recyclés en masse par rapport à la masse totale de granulats.

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

Les granulats recyclés peuvent être incorporés dans le béton via l'utilisation de granulats de prémélange pour lesquels des pourcentages massiques sont définis (gravillons naturel et recyclé ou sables naturel et recyclé ou graves naturelle et recyclée)

Les classes R5 et au-delà ne peuvent être utilisées que via une approche performantielle selon les dispositions de la norme NF EN 206+A2/CN. *Cf. diapositive suivante*

LA NORME NF EN 206+A2/CN, L'EUROCODE 2 ET SES DISPOSITIONS NATIONALES

D'un point de vue dimensionnement (à compléter par cf. NF EN 1992-1-2/NA/A2 pour le calcul au feu) :

Pour le béton armé :

- En classes R0 et R1, les relations de la NF EN 1992-1-1 donnant les propriétés du béton sont inchangées (sans prise en compte du taux massique de GR)
- En classes **R2 et R3**, voir les relations de la norme NF EN 1992-1-1/NA/A1 (prise en compte du taux massique de GR) ou utiliser les valeurs des propriétés du béton mesurées
- En classe **R4 et au-delà**, seuls des granulats recyclés correspondant à un lot identifié peuvent être utilisés et les valeurs des propriétés du béton à utiliser doivent être mesurées

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

LA NORME NF EN 206+A2/CN, L'EUROCODE 2 ET SES DISPOSITIONS NATIONALES

D'un point de vue dimensionnement (à compléter par cf. NF EN 1992-1-2/NA/A2 pour le calcul au feu) :

Pour le béton précontraint :

- En classe R0, les relations de la NF EN 1992-1-1 donnant les propriétés du béton sont inchangées (sans prise en compte du taux massique de GR)
- En classe R1, voir les relations de la norme NF EN 1992-1-1/NA/A1 (prise en compte du taux massique de GR) ou utiliser les valeurs des propriétés du béton mesurées
- En classe R2, seuls des granulats recyclés correspondant à un lot identifié peuvent être utilisés, voir les relations de la norme NF EN 1992-1-1/NA/A1 (prise en compte du taux massique de GR) ou utiliser les valeurs des propriétés du béton mesurées
- En classe R3 et au-delà, seuls des granulats recyclés correspondant à un lot identifié peuvent être utilisés et les valeurs des propriétés du béton à utiliser doivent être mesurées

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

EXEMPLE DE CLAUSE À INTRODUIRE DANS LE CCTP

(Cas d'un ouvrage non soumis à des exigences de résistance au feu)

Pour les bétons destinés aux structures, la classe de taux de substitution en granulats recyclés sera R1 au sens de la norme NF EN 206+A2/CN. Les granulats recyclés seront exclusivement constitués de gravillons recyclés de type 1.

Nota : selon le taux de substitution en granulats recyclés et selon que le béton est armé ou précontraint, les règles de dimensionnement peuvent être modifiées sur les aspects mécaniques ou de résistance au feu par exemple. Selon les cas, des essais spécifiques sont à réaliser (consulter en particulier les dispositions nationales de l'Eurocode 2 y compris leurs amendements)

**Merci de votre
attention**

BIEN PRESCRIRE LES BÉTONS Spécificités des BFUP

Bétons
Fibrés à
Ultra-hautes
Performances

Un développement qui repose sur 3 principes :

1. Une Optimisation du squelette granulaire et de la matrice cimentaire

- Homogénéité
- Haute résistance à la compression

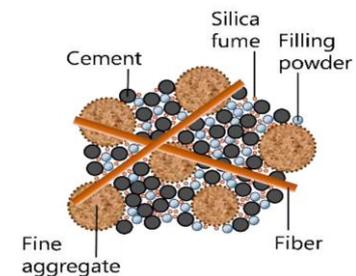
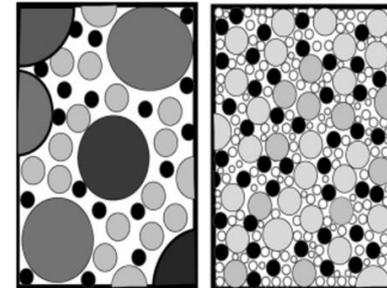
2. Un ratio E/C très faible

- Une très faible porosité
- Des propriétés de durabilités avancées

3. Une quantité de fibres importante

- Une grande ductilité
- Des performances en traction → - HA type BA

Béton traditionn BFUP



Un développement au long cours:

1970 - Premières recherches au Danemark dans les années 70/80

1980 - Développement en France par Bouygues dans les années 80 et 90

1990 - Alliance Bouygues/Lafarge/Rhodia au début années 90

1994/1996 - Création et Développement des marques de BFUP en France

2002 - Recommandations AFGC en 2002

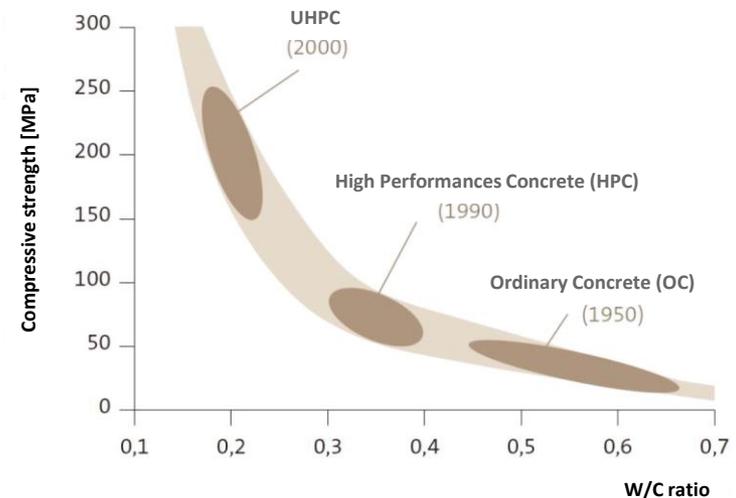
2013 - Révision des Recommandations AFGC en 2013

2015 - Parution du SIA2052 en Suisse

2016 - Parution des normes française en 2016/2018

A retenir :

- Le BFUP a 30 ans ;
- 1^{ère} recommandation par l'AFGC : 20 ans ;
- Normalisation EU : moins de 10 ans



BIEN PRESCRIRE LES BFUP Quelles normes?

Depuis 2002

Recommandations AFGC

Depuis 2013

Recommandations AFGC révisées (EC2)

Depuis 2016

NF P18-710 Dimensionnement (avril 2016)

NF P18-470 Matériaux (juillet 2016)

En 2018

NF P18-451 Exécution (décembre 2018)

Les règles communes pour les produits préfabriqués en béton

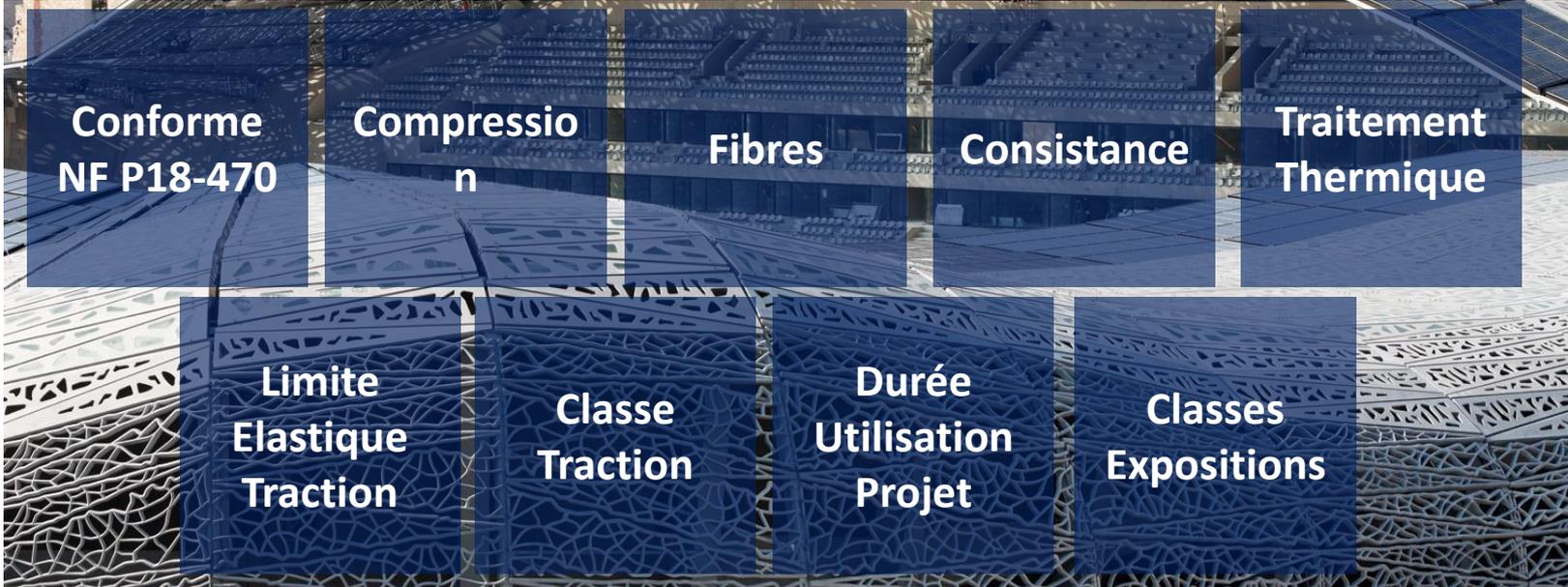
NF EN 13369 citent ces normes



- Fascicule 65 du CCTG - Pas à jour (Reco. AFGC 2013)
- BFUP projeté non couvert
- Pas de norme spécifique « réparation avec BFUP »

BIEN PRESCRIRE LES BFUP Quoi Prescrire ?

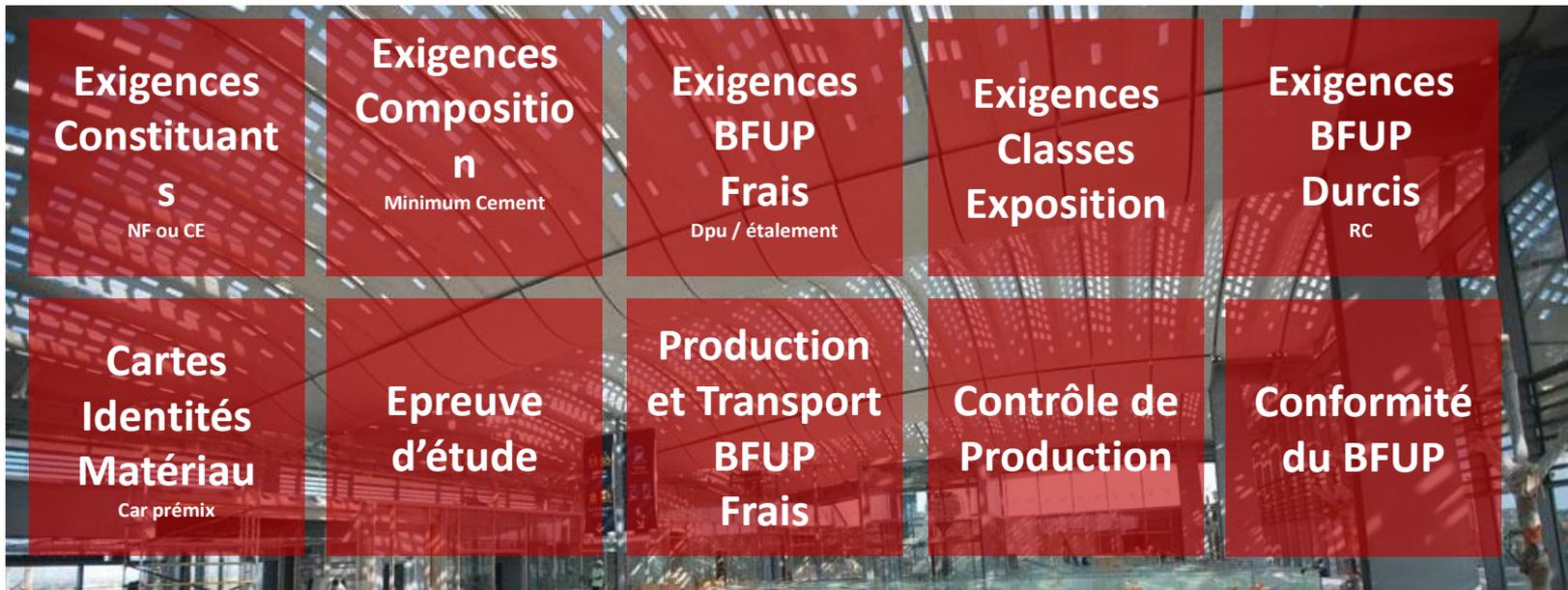
Source NF P18-470 Article 6.2 : Spécification de base



BIEN PRESCRIRE LES BFUP

Quoi Prescrire?

a) Conformité à la norme NF P18-470 implique notamment...



BIEN PRESCRIRE LES BFUP Quoi Prescrire?

b) Classe de résistance à la compression

€ ↓
Coût projet

BFUP 130/145

BFUP 150/165

BFUP 175/190

BFUP 200/215

BFUP 225/240

BFUP 250/265

cyl 11x22

Conforme NF P18-710
(Dimensionnement)

BIEN PRESCRIRE LES BFUP Quoi Prescrire?

c) Classe associée au type de fibres



BIEN PRESCRIRE LES BFUP Quoi Prescrire?

d) Classe de consistance



BIEN PRESCRIRE LES BFUP Quoi Prescrire?

e) Classe de Traitement Thermique



BIEN PRESCRIRE LES BFUP Quoi Prescrire?

f) Prescrire les BFUP en Traction

Valeur Caractéristique de la limite d'élasticité en traction

6 MPa Mini

Classe de comportement en traction

T1

Adoucissant

T2

Ecrouissant

T3

Très Ecrouissant

BIEN PRESCRIRE LES BFUP

Quoi Prescrire?

Durabilité

g) Classe d'exposition

XC/XS/XD/XF/XA...

h) Durée d'Utilisation Projet

50 ans

100 ans

150 ans

BIEN PRESCRIRE LES BFUP

En résumé

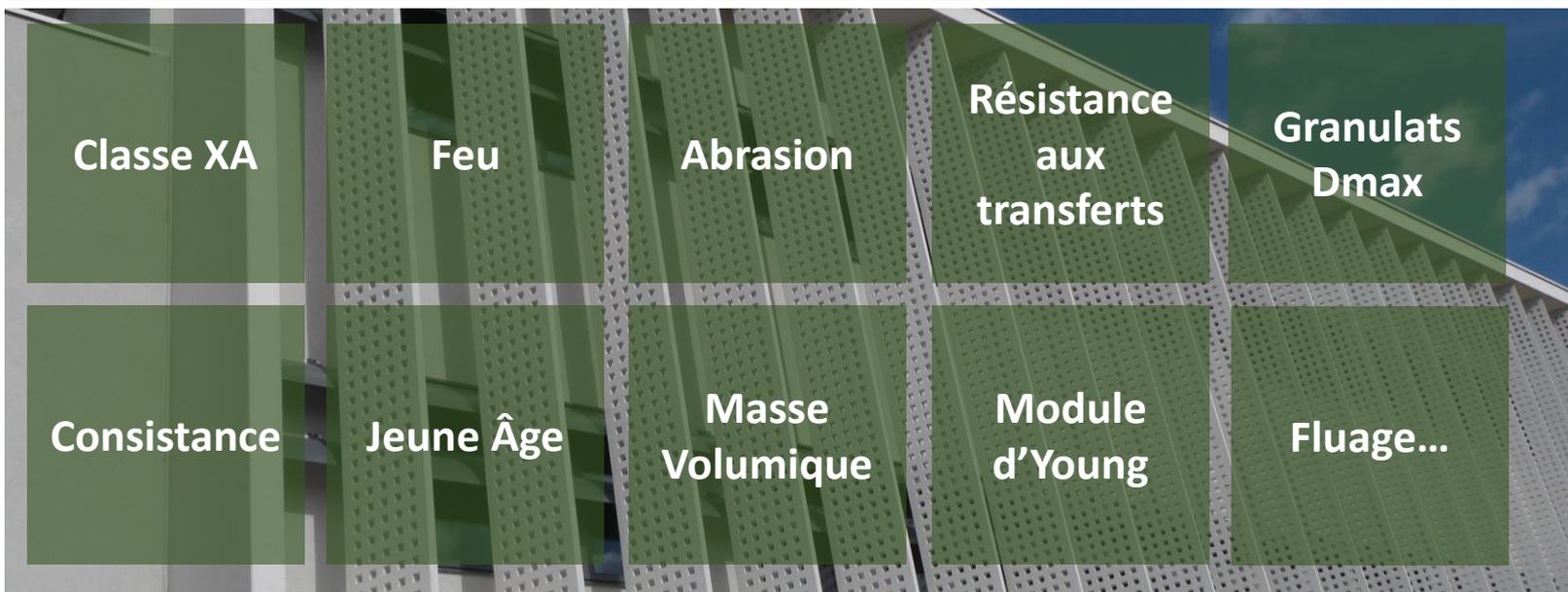
Les 9 incontournables de votre prescription BFUP (NF P18-470 Art.6.2)

<p>Conforme NF P18-470</p>	<p>Compression BFUP 130/145 BFUP 150/165</p>	<p>Fibres A M</p>	<p>Traitement Thermique ST TT TT T 1 2</p>	<p>Limite Elastique Traction 6 MPa MINI</p>
<p>Classe Traction T T T 1 2 3</p>	<p>Consistance C C C a v t</p>	<p>Durée Utilisation Projet 5 10 15 0 0 0</p>	<p>Classes Expositions X XS C X X X D F</p>	

BIEN PRESCRIRE LES BFUP

Quoi Prescrire ?

Prescription complémentaire si nécessaire (Art. 6.3)

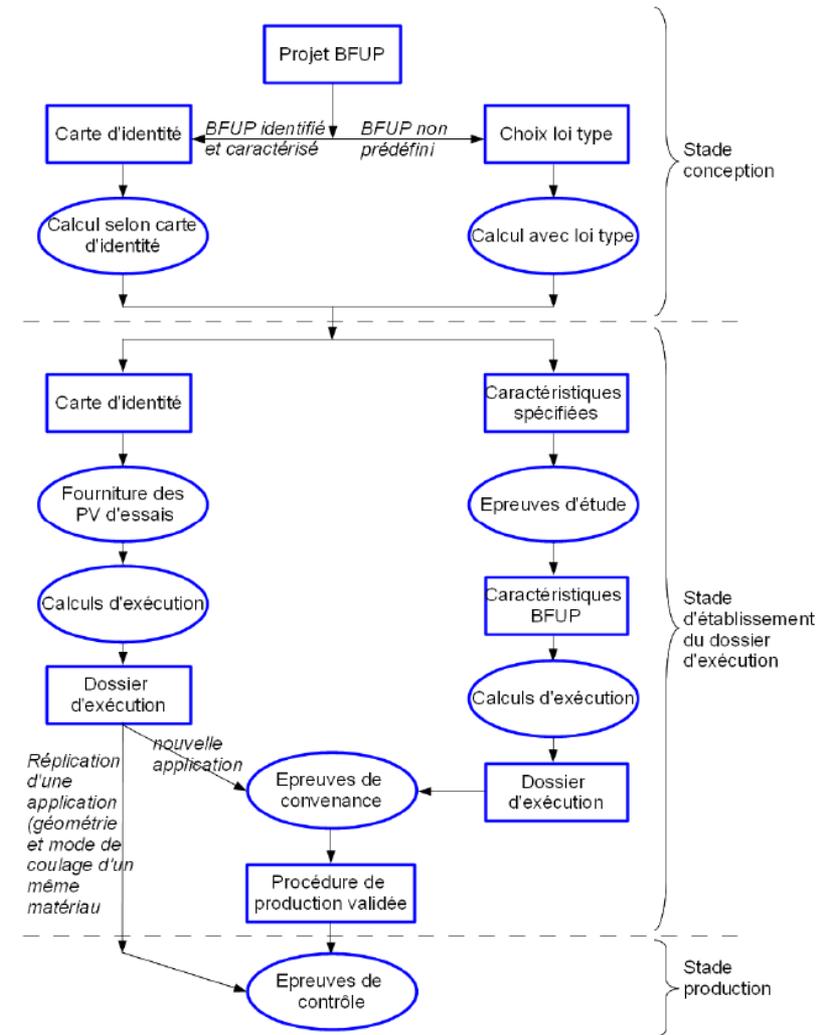


BIEN PRESCRIRE LES BFUP

Démarche globale applicable à un projet en BFUP

La caractérisation des BFUP nécessite la prise en compte de leur comportement particulier lié à la présence de fibres, qui couvre principalement deux aspects spécifiques :

- La nécessité d'une caractérisation précise de leur comportement en traction;
- Le processus de qualification qui doit prendre en compte les conditions de mise en œuvre et la géométrie de l'ouvrage à réaliser.



BIEN PRESCRIRE LES BFUP

Principales préconisations à respecter pour la mise en œuvre des BFUP

Logistique de la fabrication sur chantier

- Variabilité du prémix : incidence sur demande en eau ;
- Sensibilité thermique et conséquences (stockage constituants) ;
- Dimensionnement de la capacité de malaxage (cadences fabrication = cadence mise en œuvre)
- Incidence avérée des moyens de production et de mise en œuvre sur les performances : la CI ne suffit pas!

Points d'attention spécifique : méthodes

- En préfabrication : 1 gâchée = 1 pièce ;
- Précision et traçabilité attendues de l'outil de production (attention aux prototypes !)
- Connexion d'éléments préfabriqués légers : fixations et tolérance % existant
- Bétonnages : type de bétonnage & effet sur l'orientation des fibres et gestion du retrait gêné
- Qualité des moules / respecter des exigences qualitatives

Conditions de bonne application

- Intégration matériau / calcul / méthodes
- Coût matériau moins déterminant que méthodes et délais
- Organisation contractuelle et maîtrise des risques



BIEN PRESCRIRE LES BFUP A retenir pour aller plus loin...

Les fournisseurs et entreprises peuvent vous accompagner :

- Par le partage de cartes identité adaptées qui se substituent, tout ou partie, de l'épreuve d'études
- Par leurs expériences et références
- Par un regard critique sur la faisabilité
- Par la réalisation d'essais spécifiques préalables et d'échantillons (architecte)

Les points clés :

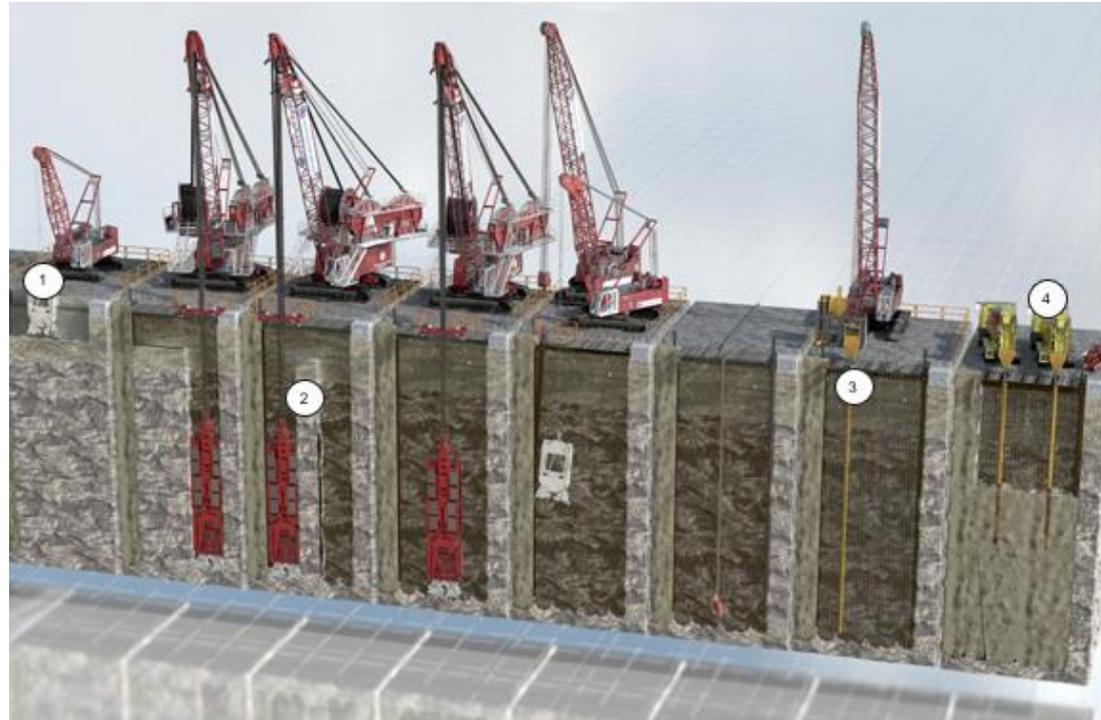
- Solliciter les sachants dans l'intérêt de la fiabilité des projets ;
→ Réseau simple de spécialistes en FR ;
- Slide 14 : les 9 incontournables à la prescription
- Approche performantielle
→ Si <150MPa > ATEX ou AT > attention délai à considérer

Conforme NF P18-470	Compression BFUP 130/145 BFUP 150/165	Fibres A M	Traitement Thermique STT TT1 TT2	Limite Elastique Traction 6 MPa MINI
Classe Traction T1 T2 T3	Consistance Ca Cv Ct	Durée Utilisation Projet 50 100 150	Classes Expositions XC XS XD XF	

**Merci pour
votre attention**

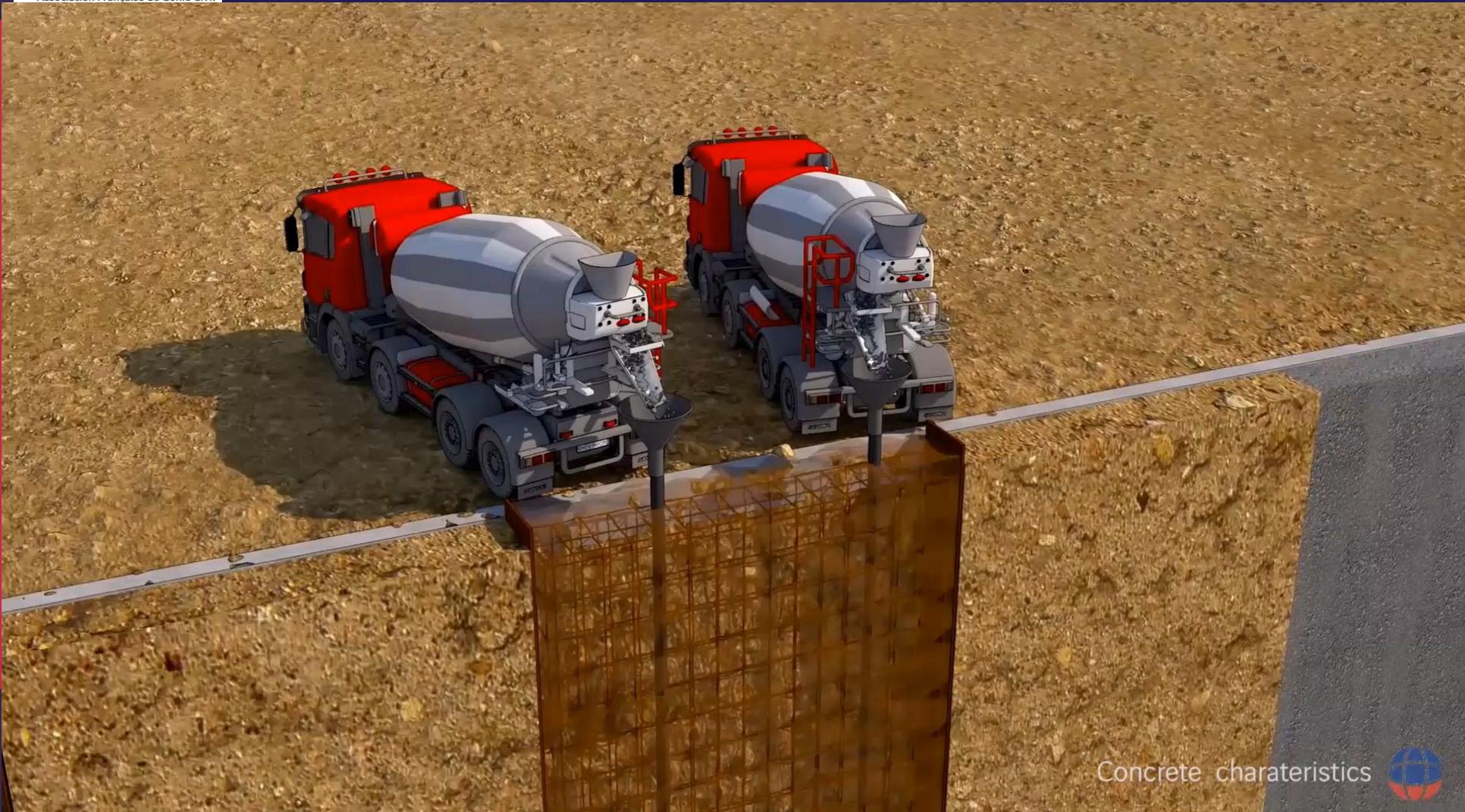
SPECIFICITES DES BETONS DESTINES AUX TRAVAUX GEOTECHNIQUES

Recommandations à l'usage des maîtres d'ouvrages et des maîtres d'oeuvre



- 1- Installation murettes guides
- 2- Excavation (sous fluide de forage)
- 3- Equipement armatures et tubes plongeurs
- 4- Coulage du béton en gravitaire via le tube plongeur

Recommandations à l'usage des maîtres d'ouvrages et des maîtres d'oeuvre



Les bétons destinés aux travaux géotechniques sont spécifiés par le rédacteur du CCTP conformément à la NF EN 206+A2/CN (classe de résistance à la compression, classes d'expositions,...).

La formulation doit être conforme à **l'annexe D de la norme NF EN 206+A2/CN** et comporter en particulier des teneurs minimales conformes au paragraphe D.3.2 :

- **En liant total** : la teneur minimale en ciment définie dans le paragraphe D.3.2, complété par le paragraphe NA.D.3.2 de l'annexe D de la norme NF EN 206/CN, est remplacée par la teneur minimale en liant total (ciment + additions conformes NA.5.1.6)
- **En fines** : les fines sont les particules inférieures à 0,125 mm.



Le diamètre D_{\max} des granulats doit être défini par l'Entreprise, et communiqué au Maître d'Œuvre avant la réalisation des travaux, en fonction de la méthode d'exécution et des dispositions des armatures, comme indiqué dans le paragraphe D.2.2 de l'annexe D.



L'Entreprise définit également, et communique au Maître d'Œuvre avant la réalisation des travaux, le mode de réalisation (indication de la méthode d'exécution et des conditions sèches ou immergées de forage), la consistance cible à la réception sur chantier, ainsi que la durée du maintien d'ouvrabilité dans le temps associé aux opérations de bétonnage.

La méthode d'exécution doit être précisée dans le CCTP afin de définir les critères en découlant, conformément aux normes dédiées :

- Pieux forés (ou barrettes) réalisés conformément à la norme NF EN 1536,
- Parois moulées réalisées conformément à la norme NF EN 1538,
- Pieux avec refoulement de sol exécutés en place réalisés conformément à la norme NF EN 12699,
- Micropieux réalisés conformément à la norme NF EN 14199

Valeur maximale du rapport $E_{\text{eff}}/L_{\text{éq}}$:

En plus des critères sur le rapport $E_{\text{eff}}/L_{\text{éq}}$ (eau efficace sur liant équivalent au sens de la norme NF EN 206/CN) découlant des exigences de la classe d'exposition, le critère suivant doit être respecté : $E_{\text{eff}}/L_{\text{éq}} \leq 0,60$.

Ce critère doit être spécifié explicitement dans le CCTP si besoin, lorsqu'il ne découle pas automatiquement d'une autre exigence (par exemple d'une classe d'exposition).

CADRE NORMATIF : NF EN 206+A2/CN ET SON ANNEXE D

Spécifications:

- Classe de résistance à la compression (Fck mini)
- Consistance (fixée par entreprise)
- Teneur en air mini

Composition:

- Dosage en liant eq (annexe NA.F)
- Dmax
- Teneur en fines/ciment*



Tableau D.3 — Valeurs cibles de consistance du béton frais dans différentes conditions

Diamètre d'étalement à la table à chocs selon l'EN 12350-5 mm	Affaissement selon l'EN 12350-2 mm	Conditions types d'utilisation (exemples)
500	150	— bétonnage en conditions sèches
560	180	— béton mis en place par pompage ou béton coulé par tube plongeur sous eau en conditions immergées
600	200	— béton coulé par tube plongeur sous fluide stabilisateur en conditions immergées

Tableau D.1 — Teneurs minimale en ciment et en fines du béton destiné aux pieux forés et aux pieux à refoulement de sol exécutés en place

Teneur en ciment :		
mise en place dans des conditions sèches		≥ 325 kg/m ³
mise en place dans des conditions immergées (sous eau ou fluides stabilisateurs)		≥ 375 kg/m ³
Teneur en fines ^a		
Gravillon	$D_{inf.} > 8 \text{ mm}$	≥ 400 kg/m ³
	$D_{sup.} > 8 \text{ mm}$	
Gravillon	$D_{inf.} \geq 4 \text{ mm}$	≥ 450 kg/m ³
	$D_{sup.} \leq 8 \text{ mm}$	

^a Fines : taille des particules ≤ 0,125 mm (additions et ciment inclus).

N.A.D.3.2 Teneur minimale en fines et teneur minimale en ciment

Les additions conformes à NA.5.1.6 peuvent être utilisées en tant que remplacement partiel du ciment pour le respect des valeurs de la teneur minimale en ciment des Tableaux D.1 et D.2.

NOTE 1 Ces dispositions concernent l'aptitude à la mise en œuvre du béton et sont complémentaires au respect des dispositions de l'Annexe NA.F.

NOTE 2 La teneur minimale en fines spécifiées dans les Tableaux D.1 et D.2 est destinée à assurer la stabilité du béton pendant sa mise en œuvre (ressuage, ségrégation). Elle est à adapter en fonction des constituants à disposition et de leur dosage et des conditions spécifiques au projet.

Dans le cas de gros volumes de bétonnage en continu, il est recommandé de vérifier la rhéologie et la stabilité du béton. Il est possible de se référer pour le suivi du maintien de la consistance à la norme NF EN 12350-1:2019 et pour la viscosité à l'essai d'écoulement XP P 18-469. Pour le contrôle de la stabilité, il est possible de suivre les normes XP P 18-468 et XP P 18-475.

Recommandations à l'usage des maîtres d'ouvrages et des maîtres d'oeuvre

Exemple :

Parois moulées : BARPRO XA2 C35 GG CEM III MS3 350 S210 CL065

Centrale de Strasbourg et Gamsheim

CONSTITUANTS	DOSAGES SECS
0/4 R Code A Gamsheim	805 kg/m ³
4/16 R Gamsheim	395 kg/m ³
16/22 R Gamsheim	500 kg/m ³
BETOCARB HP-VD – VOID - OMYA	60 kg/m ³
CEM III/A 52.5 L CE PM ES CP1 NF CALCIA de Rombas	350 kg/m ³
VISCOCRETE TEMPO 11	2,05 kg/m ³
SIKATARD 400 GC	0,82 Kg/m ^{3*}
Eau Totale	194 litres
Eau efficace	173 litres
Eau efficace / Ciment	0,49

Le complément national autorise la prise en compte des additions conformes à NA. 5.1.6 pour remplir les exigences de teneur minimale en ciment des tableaux D1 et D2.

La teneur minimale en ciment s'entend comme la teneur minimale en liant total (ciment + addition).

La teneur en liant équivalent doit être respectée en accord avec les tableaux des annexes NA.F.

La teneur en fines inclut l'ensemble des éléments de taille inférieure ou égale à 125 µm (fines apportés par les granulats incluses).

Recommandations à l'usage des maîtres d'ouvrages et des maîtres d'oeuvre

Tableau - Teneurs minimales en liant total « ciment + additions », en fines et en sable ($D \leq 4$ mm) des granulats, selon la méthode d'exécution et le D_{\max} des granulats.

Méthode d'exécution	Normes d'exécutions	Dmax, mm	Teneur minimale en liant total, kg/m^3	Teneur minimale en fines, kg/m^3	Teneur pondérale minimale en sable ($D \leq 4$ mm), % des granulats
Micropieux	NF EN 14199	16	≥ 375	≥ 375	-
Pieux forés et pieux avec refoulement de sol	NF EN 1536 NF EN 12699	- (spécifications indépendantes)	≥ 325 (1)	≥ 400 (4)	-
			≥ 375 (2)	≥ 450 (5)	-
			≥ 350 béton « semi-sec » (3)	-	-
Parois moulées	NF EN 1538	32	≥ 350	≥ 400 et ≥ 550	≥ 40 %
		22,4	≥ 380	-	-
		16	≥ 400	-	-

(1) Mise en place dans des conditions sèches

(2) Mise en place dans des conditions immergées (sous eau ou fluides stabilisateurs)

(3) Béton « semi-sec » pilonné, classe de résistance $\geq C25/30$

(4)

$D_{\max} > 8$ mm

(5)

4 mm $\leq D_{\max} \leq 8$ mm

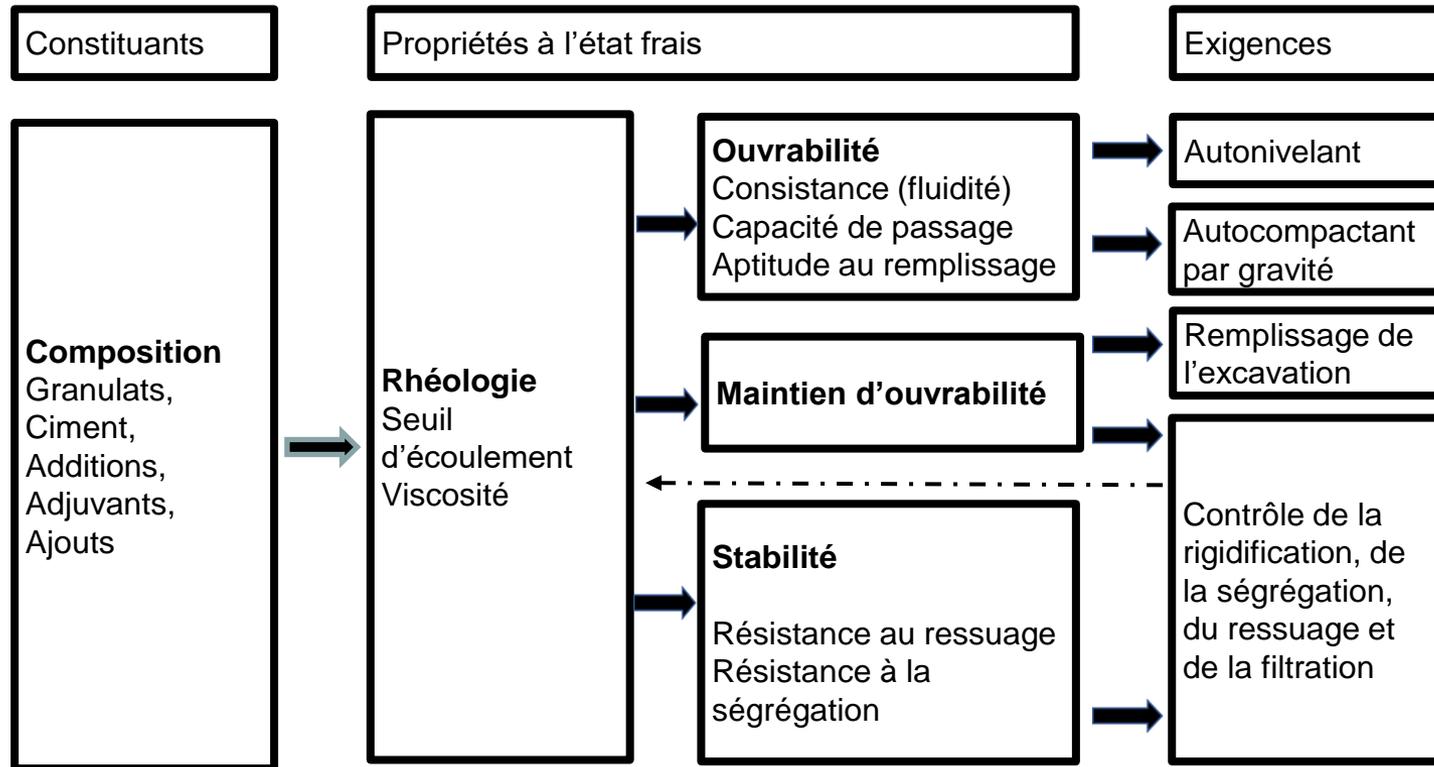
Recommandations à l'usage des maîtres d'ouvrages et des maîtres d'oeuvre

Tableau – Valeur du diamètre maximal D_{max} des granulats du béton en fonction de la méthode d'exécution. La valeur de D_{max} la plus faible sera prise en compte.

Méthode d'exécution	D_{max} (en mm)
Pieux forés et parois moulées	32 mm et 1/4 de l'espacement nu à nu des barres longitudinales
Pieux avec refoulement de sol	32 mm et 1/3 de l'espacement nu à nu des barres longitudinales
Micropieux	16 mm et 1/4 de l'espacement nu à nu des barres longitudinales
Mise en place en conditions immergées	1/6 du diamètre intérieur du tube plongeur ou du tube d'alimentation du béton

Recommandations à l'usage des maîtres d'ouvrages et des maîtres d'oeuvre

Paramètres à considérer par l'entreprise réalisant les travaux



Spécifications incombant à l'entreprise – NF EN 206+A2/CN et guide du béton de fondations profondes EFFC (traduction SOFFONS 2021)

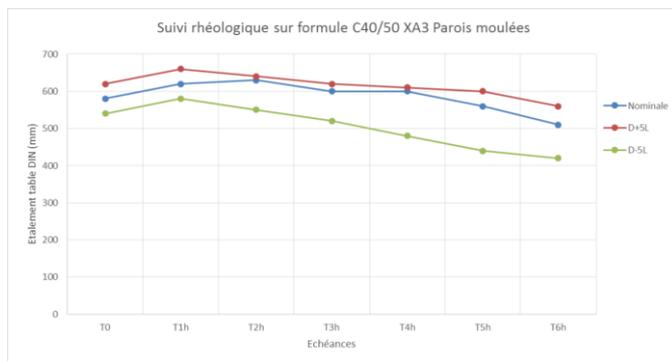
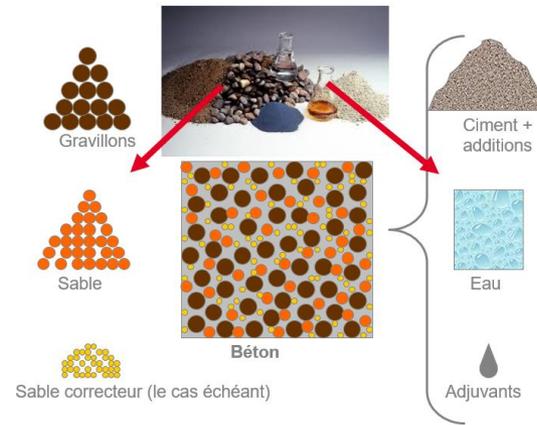
Spécifications

- Ressuage des béton (XP P18-468 et P18-475)
- Temps d'écoulement au cône inversé (XP P18-469)
- Maintien d'ouvrabilité

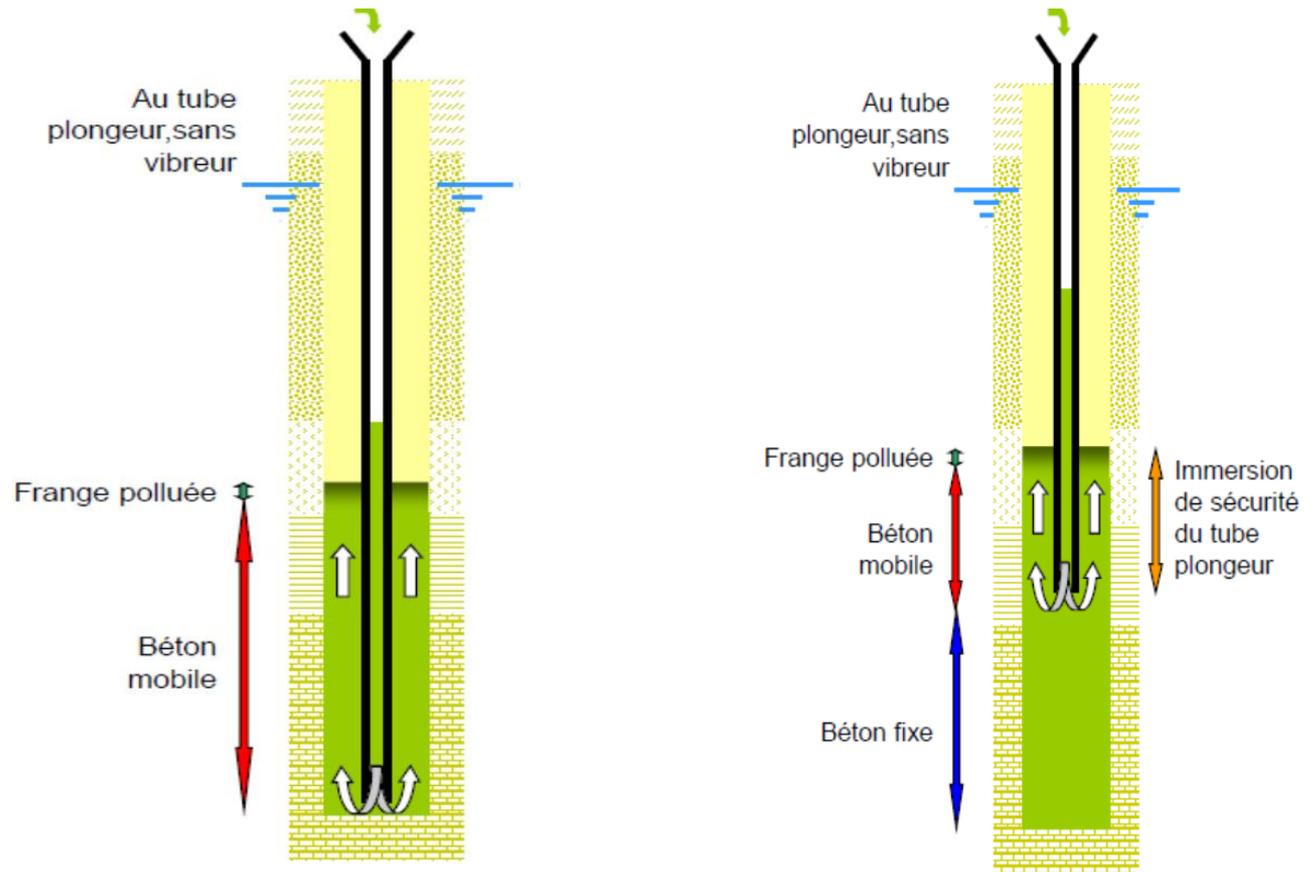


Composition

- Granulométrie continue
- Limitation du G/S
- Adjuvants spécifiques / teneur en fines



Remontée du
béton lors de la
mise en œuvre
(importance de
la viscosité et
du maintien de
consistance)



Remontée du
béton lors de la
mise en œuvre
(importance de
la viscosité et
du maintien de
consistance)





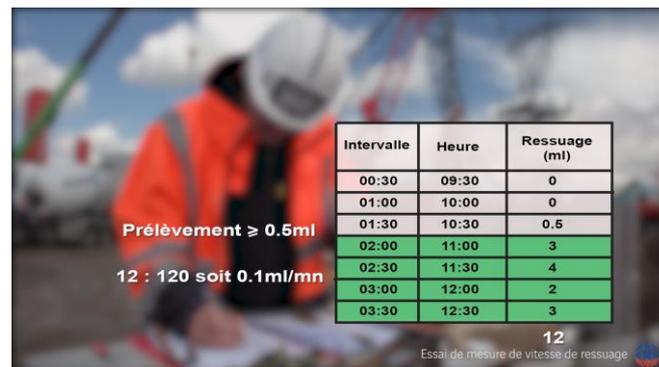
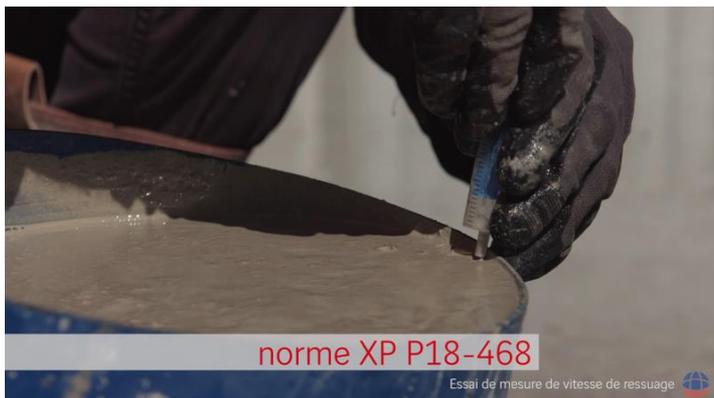
Mesure de viscosité au cône inversé



Recommandations à l'usage des maîtres d'ouvrages et des maîtres d'oeuvre

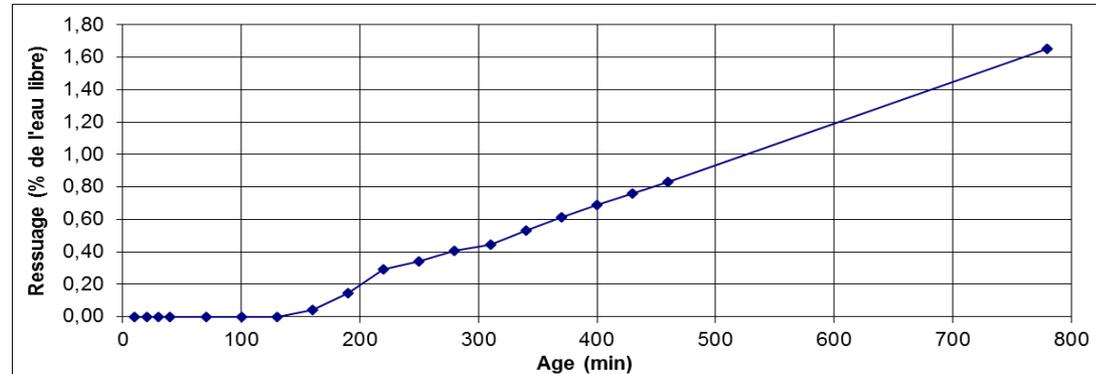


Essai de stabilité

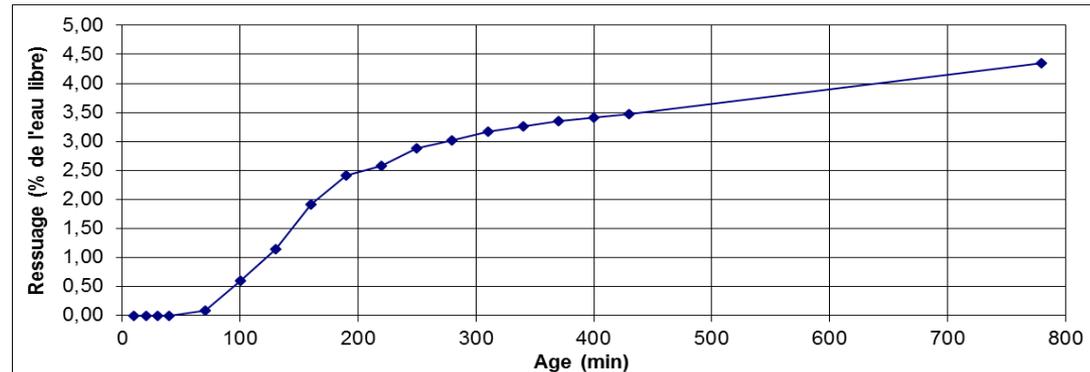


Exemple : courbes de ressuage sur Metro Ligne 12

Formule nominale
F: 620 mm



Formule +
10 l/m³ eau
F: 660 mm



Conséquence possible
d'un défaut de ressuage



Recommandations à l'usage des maîtres d'ouvrages et des maîtres d'oeuvre

Conséquence possible d'un défaut de consistance



Recommandations à l'usage des maîtres d'ouvrages et des maîtres d'oeuvre

Epreuve d'étude (laboratoire)

- **Essais en amont des essais en centrale**
 - Requis par le fascicule 65 (sauf si références probantes)
- **Robustesse de la composition de béton :**
 - Eau $\pm 10L/ m^3$
Et éventuellement
 - $\pm 10\%$ poids S/S+G
 - $\pm 20kg$ Liant
 - Adjuvants...
- **Tests**
 - Fascicule 65 : consistance et Rc 28 jours
 - Fondations : viscosité, stabilité, résistance à jeune âge...



Réalisation des convenances



S'assurer que la composition de béton et les outils de production du fournisseur permettent d'obtenir un béton adapté à nos ouvrages sur toutes les centrales livrant le projet.



**CONVENANCES =
IDENTIFIER LES
PROBLEMES AVANT LE
DEMARRAGE DU CHANTIER**

Recommandations à l'usage des maîtres d'ouvrages et des maîtres d'oeuvre

 **DE NOUVEAUX OUTILS DE MESURE POUR UNE BONNE ASSURANCE
DE LA QUALITE**

Merci de votre attention

Recommandations à l'usage des maîtres d'ouvrages et des maîtres d'oeuvre

SPÉCIFICITÉS DES PRODUITS PRÉFABRIQUÉS EN BÉTON

EXEMPLE DE CLAUSE DE CCTP

Le rédacteur du CCTP doit intégrer dans son CCTP les dispositions normatives et réglementaires applicables aux produits préfabriqués en béton utilisables pour la réalisation du projet.

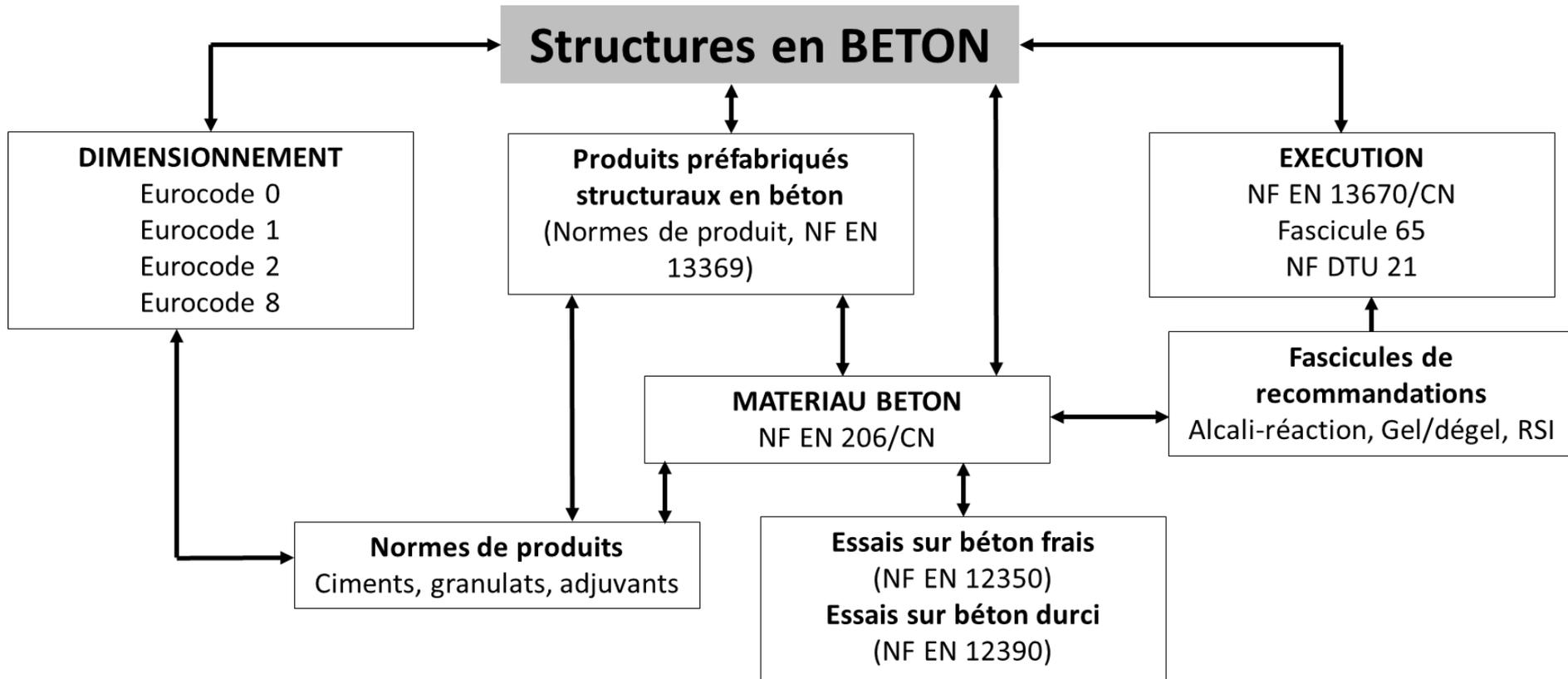
Les différentes parties d'ouvrage peuvent être coulées en place ou préfabriquées.

Les parties d'ouvrage [... , ... et ...] sont constituées de produits préfabriqués, sauf si une solution alternative est proposée par le titulaire du marché et qu'elle est acceptée par le maître d'œuvre.

La préfabrication n'est pas admise pour les parties d'ouvrage [... ; ... et ...] sauf si elle est proposée par le titulaire du marché, sous réserve d'acceptation du maître d'œuvre.

Les produits préfabriqués en béton sont conformes aux normes de produit dont ils relèvent. Pour les produits ne disposant pas de norme, les dispositions de la norme NF EN 13369 « Règles communes pour les produits préfabriqués en béton » ou d'autres dispositions spécifiques au produit s'appliquent.

Les produits préfabriqués en béton doivent être titulaires d'une certification volontaire NF ou équivalente lorsqu'elle couvre les produits concernés.



PRODUITS POUR LESQUELS LA **NORME PRODUIT** S'APPUIE SUR LA NORME NF EN 13369 ET LA NORME NF EN 206/CN



La plupart des produits de structure (béton armé ou précontraint)

PRODUITS POUR LESQUELS IL EXISTE DES **NORMES AUTOPORTANTES**



Les blocs de maçonnerie, les produits de voirie, les produits destinés à l'assainissement...

PRODUITS NE DISPOSANT **PAS DE NORME SPÉCIFIQUE**, LES DISPOSITIONS DE LA NORME NF EN 13369 PEUVENT ÊTRE UTILISÉES



Corniches de pont, ...

MARQUAGE CE DES PRODUITS PRÉFABRIQUÉS EN BÉTON



- Le **marquage CE** des produits, associé à la Déclaration des Performances (DdP ou DoP), est obligatoire pour les produits en béton relevant d'une norme européenne harmonisée
- Les caractéristiques à déclarer ainsi que les modalités de déclaration et de marquage sont spécifiées dans l'Annexe ZA de la norme couvrant le produit
- Selon le système d'attestation et de vérification de la performance requis, la déclaration des performances peut devoir être justifiée par un certificat ou par un rapport d'essai émis par un organisme notifié par l'État

MARQUAGE NF POUR LES PRODUITS PRÉFABRIQUÉS EN BÉTON



- La **marque NF** est une certification volontaire de produits encadrée par le Code de la Consommation. Propriété de l'AFNOR, elle est délivrée par des organismes de certification accrédités NF EN ISO/CEI 17065
- Les exigences à respecter sur les produits finis sont définies sur la base de normes de produits et d'essais, dans des référentiels rédigés avec les parties prenantes : fabricants, utilisateurs, organismes techniques
- Pour les produits couverts par le marquage CE, la certification vient en complément

IMPORTANCE DU PROCESS INDUSTRIELS SUR LES PROPRIÉTÉS FINALES DU BÉTON

Moules vibrant



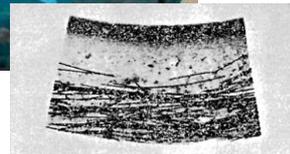
Extrusion



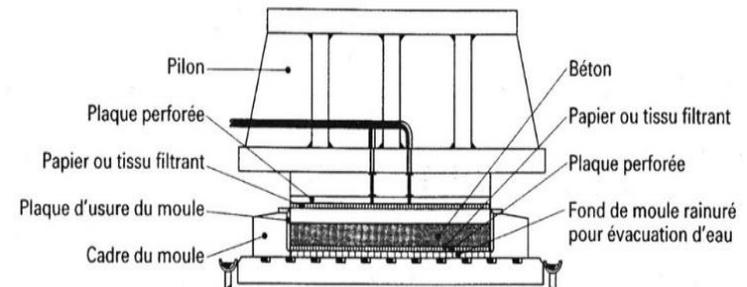
BAP



Centrifugation



Pressage - essorage



Les leviers de l'IB pour réduire l'impact carbone

Systemes constructifs

*Ex : poteaux - poutres +
façades rapportées,
grandes portées,
isolation ITE, ITI*

→ Performances,
mixité des matériaux...



Process industriels

*Ex : process optimisés
(compactage, traitement
thermique..),
produits creux, produits
légers, précontraints*

→ Economies de
matière



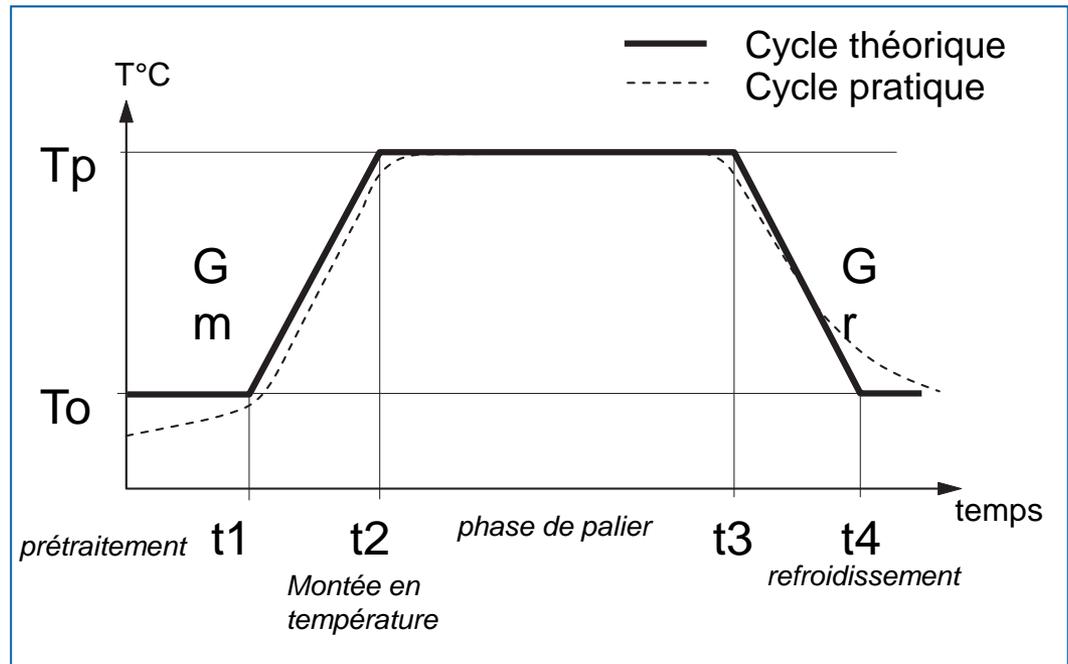
Levier matériau

*Ex : optimisation du
liant, choix des classes
d'exposition...*

→ Bétons à plus faible
empreinte carbone



LES TRAITEMENTS THERMIQUES, NF EN 13369





Merci de votre attention



DETERMINATION DE L'ENROBAGE DES ARMATURES

L'enrobage des armatures représente la distance entre la surface du béton et l'armature la plus proche (cadres, étriers, épingles, armatures de peau, etc.).

Il doit être suffisant pour garantir :

- La bonne **protection de l'acier contre la corrosion** : **DURABILITE**
- La bonne **transmission des efforts d'adhérence** béton armatures :

FONCTIONNEMENT DE LA STRUCTURE

- Une **résistance au feu** convenable du béton : **SECURITE**

La détermination des enrobages est de la responsabilité de l'entreprise.

Chaque partie d'ouvrage peut être soumise sur ses **différentes faces** à des **classes d'exposition différentes** vis-à-vis du risque de corrosion.

Le rédacteur du CCTP doit donc, dans un **tableau spécifique** (distinct de celui prescrivant les classes d'exposition des bétons), préciser les classes d'exposition à prendre en compte pour la détermination de **l'enrobage de chaque face de chaque partie d'ouvrage**.

Exemple: pour un voile, les classes d'exposition pour déterminer l'enrobage de la face intérieure, et les classes d'exposition pour déterminer l'enrobage de la face extérieure.

Enrobage nominal/minimal

$$C_{\text{nom}} = C_{\text{min}} + \Delta C_{\text{dev}}$$

Position déduite des cotes du dessin

Position constatée



Seul l'enrobage nominal est précisé sur les plans d'exécution, en tant que référence pour la fabrication et pour la pose des armatures.

L'enrobage nominal est la somme de l'enrobage minimal nécessaire vis-à-vis de la durabilité établi selon les principes de la norme NF EN 1992-1-1 et d'une marge de sécurité pour tolérances d'exécution.

Les valeurs doivent être en cohérence avec l'enrobage minimal de la norme NF EN1992-1-1, et les éventuelles optimisations prévues (classe de résistance à la compression supérieure à la classe de référence, indicateurs de durabilité améliorés, contrôle de la qualité, nature des armatures...).

ENROBAGE SELON L'EUROCODE 2

Les **recommandations** de l'EUROCODE 2 (norme NF EN 1992-1-1) en matière d'enrobage des bétons de structures résultent d'un retour d'expérience sur la durabilité des ouvrages construits depuis plusieurs décennies et sur les recherches récentes en matière de protection des armatures vis-à-vis des risques de corrosion.

Elles visent, en conformité avec la norme NF EN 206/CN, à optimiser de manière pertinente la durabilité des ouvrages.

La valeur de l'enrobage peut ainsi être optimisée en particulier :

- Si l'on choisit un béton présentant une classe de résistance à la compression supérieure à la classe de référence (définie pour chaque classe d'exposition) **ou des valeurs d'indicateurs de durabilité améliorés par rapport aux seuils de base du FD P18-480** ;
- S'il existe un système de contrôle de la qualité ;
- Si l'on utilise des armatures inox.

L'EUROCODE 2 permet aussi de dimensionner l'ouvrage pour une durée d'utilisation de l'ouvrage supérieure en augmentant la valeur de l'enrobage.

Note: Il attire aussi l'attention sur les problèmes respectifs de fissuration du béton en cas d'enrobage nominal supérieur à 50 mm et de bétonnage pour des enrobages nominaux inférieurs à la dimension nominale du plus gros granulats.

DETERMINATION DE L'ENROBAGE

La détermination de la valeur de l'enrobage doit prendre en compte de façon détaillée :

- La **classe d'exposition** dans laquelle se trouve l'ouvrage (ou la partie d'ouvrage) et qui traduit les conditions environnementales
- La durée de service attendue (ou **durée d'utilisation du projet**)
- La **classe de résistance du béton (ou les grandeurs associées à la durabilité)**
- Le type de **système de contrôle qualité** mis en œuvre pour assurer la régularité des performances du béton et la maîtrise du positionnement des armatures
- La régularité de la surface contre laquelle le béton est coulé
- Le **type d'armatures** (précontraintes ou non) et leur nature (acier au carbone, acier inoxydable) et d'éventuelles protections complémentaires contre la corrosion.
- La maîtrise du positionnement des armatures.

PROCESSUS DE DÉTERMINATION DE L'ENROBAGE NOMINAL SUIVANT L'EUROCODE 2

Le processus de détermination de l'enrobage des armatures dans chaque partie d'ouvrage comporte plusieurs étapes :

- **PRISE EN COMPTE DES CLASSES D'EXPOSITION**
- **CHOIX DE LA CLASSE STRUCTURALE : 50 ans = S4**
- **PRISE EN COMPTE DU TYPE D'ARMATURE et DES CONTRAINTES PARTICULIÈRES** : Parements irréguliers , Abrasion du béton
- **DÉTERMINATION DE L'ENROBAGE MINIMAL VIS-À-VIS DE L'ADHÉRENCE $C_{\min,b}$**
- **DÉTERMINATION DE L'ENROBAGE MINIMAL VIS-À-VIS DE LA DURABILITE $C_{\min,dur}$**
- **DÉTERMINATION DE L'ENROBAGE MINIMAL C_{\min}**
- **PRISE EN COMPTE DES TOLÉRANCES D'EXÉCUTION**

DETERMINATION DE L'ENROBAGE

On distingue :

- $C_{min,b}$ enrobage minimal vis-à-vis des exigences d'adhérence (béton/armature) ;
- $C_{min,dur}$ enrobage minimal vis-à-vis de la classe d'exposition qui tient compte des conditions environnementales et vis-à-vis de la classe structurale qui dépend de la durée d'utilisation du projet ;
- $\Delta C_{dur,y}$ marge de sécurité (valeur recommandée 0);
- $\Delta C_{dur,st}$ réduction de l'enrobage minimal dans le cas d'utilisation, par exemple, d'acier inoxydable;
- $\Delta C_{dur,add}$ réduction de l'enrobage minimal dans le cas de protections complémentaires.

DETERMINATION DE L'ENROBAGE

L'enrobage minimal est défini dans la section 4 « Durabilité et enrobage des armatures » de la norme NF EN 1992-1-1

Il est donné par l'expression :

$$C_{\min} = \max \left[\begin{array}{c} C_{\min,b} \\ C_{\min,dur} + \Delta C_{dur,y} - \Delta C_{dur,st} - \Delta C_{dur,add} \\ 10 \text{ mm} \end{array} \right]$$

TOLERANCE D'EXECUTION

L'enrobage minimal doit être majoré pour tenir compte des tolérances pour écart d'exécution (ΔC_{dev}).

La valeur recommandée dans la NF EN 1992-1-1 est = 10 mm. Cette valeur peut être réduite sous réserve de conditions strictes de contrôle qualité à la fois sur la conception et l'exécution des ouvrages. Il est possible de la ramener à une valeur comprise entre 5 et 10 mm.

L'enrobage nominal est alors donné par la formule :

$$C_{nom} = C_{min} + \Delta C_{dev}$$

La réduction possible de l'enrobage ($\Delta C_{dev} < 10$ mm) permet d'inciter à un meilleur contrôle du positionnement réel des armatures et une meilleure qualité de réalisation.

DÉTERMINATION DE L'ENROBAGE MINIMAL VIS-À-VIS DE LA DURABILITÉ $c_{\min,dur}$

Les valeurs de $c_{\min,dur}$ (en mm) requis vis-à-vis de la durabilité sont données en fonction de la classe d'exposition et de la classe structurale dans le tableau 4.4 N pour les armatures de béton armé

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

Exigence environnementale pour $c_{\min,dur}$ (mm)							
Classe Structurale	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

EXEMPLE DE DETERMINATION DE L'ENROBAGE

Caisson d'un pont routier en béton précontraint d'un ouvrage situé en bord de mer (distance de la mer 500m).

Le tablier est dimensionné avec un béton de classe de résistance C 35/45.

La réalisation de l'ouvrage suppose un enrobage compact des hourdis supérieur et inférieur.

	Partie d'ouvrage et face du parement	Classe d'exposition	Classe structurale	Enrobage minimal	Enrobage nominal	Enrobage nominal avec amélioration du contrôle d'exécution	Enrobage nominal avec amélioration du contrôle d'exécution et béton de classe de résistance C60/75
1	Hourdis supérieur Face supérieure	XC4 / XS1	S6	45	55	50	45
2	Hourdis supérieur Face inférieure à l'extérieur du caisson	XC4 / XS1	S5	40	50	45	40
3	Hourdis supérieur Face inférieure à l'intérieur du caisson	XC3	S5	30	40	35	30
4	Ame Face extérieure du caisson	XC4 / XS1	S6	45	55	50	45
5	Ame face intérieure du caisson	XC3	S6	35	45	40	35
6	Hourdis inférieur Face supérieure à l'intérieur du caisson	XC3	S6	35	45	40	35
7	Hourdis inférieur Face inférieure à l'extérieur du caisson	XC4 / XS1	S5	40	50	45	40

DÉTERMINATION DE L'ENROBAGE MINIMAL VIS-À-VIS DE LA DURABILITÉ $c_{min,dur}$ – Approche prescriptive

Tableau 4.3NF — Modulations de la classe structurale recommandée, en vue de la détermination des enrobages minimaux $c_{min,dur}$ dans les Tableaux 4.4N et 4.5NF

Critère	Classe d'exposition selon Tableau 4.1						
	X0	XC1	XC2/XC3	XC4	XD1/XS1/ XA1 ³⁾	XD2/XS2/ XA2 ³⁾	XD3/XS3/ XA3 ³⁾
Durée d'utilisation de projet	100 ans : majoration de 2	100 ans : majoration de 2	100 ans : majoration de 2	100 ans : majoration de 2	100 ans : majoration de 2	100 ans : majoration de 2	100 ans : majoration de 2
	25 ans et moins : minoration de 1	25 ans et moins : minoration de 1	25 ans et moins : minoration de 1	25 ans et moins : minoration de 1	25 ans et moins : minoration de 1	25 ans et moins : minoration de 1	25 ans et moins : minoration de 1
Classe de résistance ¹⁾	≥ C30/37 et < C50/60 : minoration de 1	≥ C30/37 et < C50/60 : minoration de 1	≥ C30/37 et < C55/67 : minoration de 1	≥ C35/45 et < C60/75 : minoration de 1	≥ C40/50 et < C60/75 : minoration de 1	≥ C40/50 et < C60/75 : minoration de 1	≥ C45/55 et < C70/85 : minoration de 1
	≥ C50/60 : minoration de 2	≥ C50/60 : minoration de 2	≥ C55/67 : minoration de 2	≥ C60/75 : minoration de 2	≥ C60/75 : minoration de 2	≥ C60/75 : minoration de 2	≥ C70/85 : minoration de 2
Nature du liant		Béton de classe ≥ C35/45 à base de CEM I sans cendres volantes : minoration de 1	Béton de classe ≥ C35/45 à base de CEM I sans cendres volantes : minoration de 1	Béton de classe ≥ C40/50 à base de CEM I sans cendres volantes : minoration de 1			
Enrobage compact ²⁾	minoration de 1	minoration de 1	minoration de 1	minoration de 1	minoration de 1	minoration de 1	minoration de 1

Tableau 4.4N : Valeurs de l'enrobage minimal $c_{min,dur}$ 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 $c_{min,dur}$ (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

Approche prescriptive – NF EN 13369 et NF EN 206+A2

Possibilité de diminuer d'une classe structurale en valorisant les bonnes résistances mécaniques

Possibilité de diminuer d'une classe structurale en fonction de la nature du liant

Possibilité de valoriser la compacité du béton d'enrobage

DÉTERMINATION DE L'ENROBAGE MINIMAL VIS-À-VIS DE LA DURABILITÉ $c_{min,dur}$ – Approche performantielle

Tableau 4.3NF — Modulations de la classe structurale recommandée, en vue de la détermination des enrobages minimaux $c_{min,dur}$ dans les Tableaux 4.4N et 4.5NF

Critère	Classe d'exposition selon Tableau 4.1						
	X0	XC1	XC2/XC3	XC4	XD1/XS1/ XA1 ³⁾	XD2/XS2/ XA2 ³⁾	XD3/XS3/ XA3 ³⁾
Durée d'utilisation de projet	100 ans : majoration de 2	100 ans : majoration de 2	100 ans : majoration de 2	100 ans : majoration de 2	100 ans : majoration de 2	100 ans : majoration de 2	100 ans : majoration de 2
	25 ans et moins : minoration de 1	25 ans et moins : minoration de 1	25 ans et moins : minoration de 1	25 ans et moins : minoration de 1	25 ans et moins : minoration de 1	25 ans et moins : minoration de 1	25 ans et moins : minoration de 1
Classe de résistance ¹⁾	$\geq C30/37$ et < C50/60 : minoration de 1	$\geq C30/37$ et < C50/60 : minoration de 1	$\geq C30/37$ et < C55/67 : minoration de 1	$\geq C35/45$ et < C60/75 : minoration de 1	$\geq C40/50$ et < C60/75 : minoration de 1	$\geq C40/50$ et < C60/75 : minoration de 1	$\geq C45/55$ et < C70/85 : minoration de 1
	$\geq C50/60$: minoration de 2	$\geq C50/60$: minoration de 2	$\geq C55/67$: minoration de 2	$\geq C60/75$: minoration de 2	$\geq C60/75$: minoration de 2	$\geq C60/75$: minoration de 2	$\geq C70/85$: minoration de 2
Nature du liant		Béton de classe $\geq C35/45$ à base de CEM I sans cendres volantes : minoration de 1	Béton de classe $\geq C35/45$ à base de CEM I sans cendres volantes : minoration de 1	Béton de classe $\geq C40/50$ à base de CEM I sans cendres volantes : minoration de 1			
Enrobage compact ²⁾	minoration de 1	minoration de 1	minoration de 1	minoration de 1	minoration de 1	minoration de 1	minoration de 1

Tableau 4.4N : Valeurs de l'enrobage minimal $c_{min,dur}$ 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 $c_{min,dur}$ (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

FD P 18-480 : respect des seuils de base (Vitesse de carbonatation ou porosité)

FD P 18-480 : respect des seuils renforcés (Vitesse de carbonatation ou porosité) – diminution d'un classe structurale (5 mm)

FD P 18-480 : respect des seuils encore renforcés (Vitesse de carbonatation ou porosité) – diminution de deux classes structurales (10 mm)

DÉTERMINATION DE L'ENROBAGE MINIMAL VIS-À-VIS DE LA DURABILITÉ $C_{min,dur}$ – Approche performantielle

Classe d'exposition	Modulation selon la classe de résistivité à 90 j selon XP P 18-481 ($\Omega.m$)	Vitesse caractéristique de carbonatation accélérée selon XP P 18-458 (DUP 100 ans)		
		sans minoration	minoration 1 classe	minoration 2 classes
XC1	< 100	4	3	1,8
	100 à 175			
	> 175			
XC2	< 100	2,6	2,2	1,8
	100 à 175	3	2,6	
	> 175			
XC3	< 100	1,8	1,4	1
	100 à 175			
	> 175			
XC4	< 100	1,8	1,4	1
	100 à 175			
	> 175	2,2	1,8	1,4

Merci de votre attention

EMPREINTE ENVIRONNEMENTALE DES BETONS

Recommandations à l'usage des maîtres d'ouvrages et des maîtres d'oeuvre

EMPREINTE ENVIRONNEMENTALE DES BETONS

La raréfaction croissante des matières premières, l'espace limité des décharges et la nécessité de réduire les émissions de CO2 sont des contraintes aujourd'hui universelles.

Les ouvrages durables doivent y répondre, mais doivent offrir en même temps une qualité technique élevée et être alignés sur les normes de construction. En outre, les ouvrages doivent toujours être adaptés aux contraintes de l'utilisateur et avec l'impact le plus faible possible sur le milieu extérieur.

L'analyse de l'impact d'un ouvrage doit donc être faite **de manière globale**, en prenant en compte de nombreux paramètres, **l'impact environnemental** bien entendu, mais également **la durée de vie**, **la possibilité d'aménagement en fin de vie**, **l'adaptation à l'usage**, ...
Le choix du maître d'ouvrage ne doit donc pas se limiter au seul matériau, mais bien prendre en compte l'ouvrage dans sa globalité.



Recommandations à l'usage des maîtres d'ouvrages et des maîtres d'oeuvre

EMPREINTE ENVIRONNEMENTALE D'UN OUVRAGE

Le calcul de l'empreinte environnemental d'un ouvrage d'art doit se faire selon les règles de la NF EN 17472 (NF EN 15978 dans le cas d'un bâtiment).

C'est à ce niveau que **d'éventuelles comparaisons de « variantes »** doivent se faire, en effet, des modifications du type béton, tel l'utilisation de béton à haute performances, certes plus impactant au m³, entrainera des diminutions de plusieurs postes :

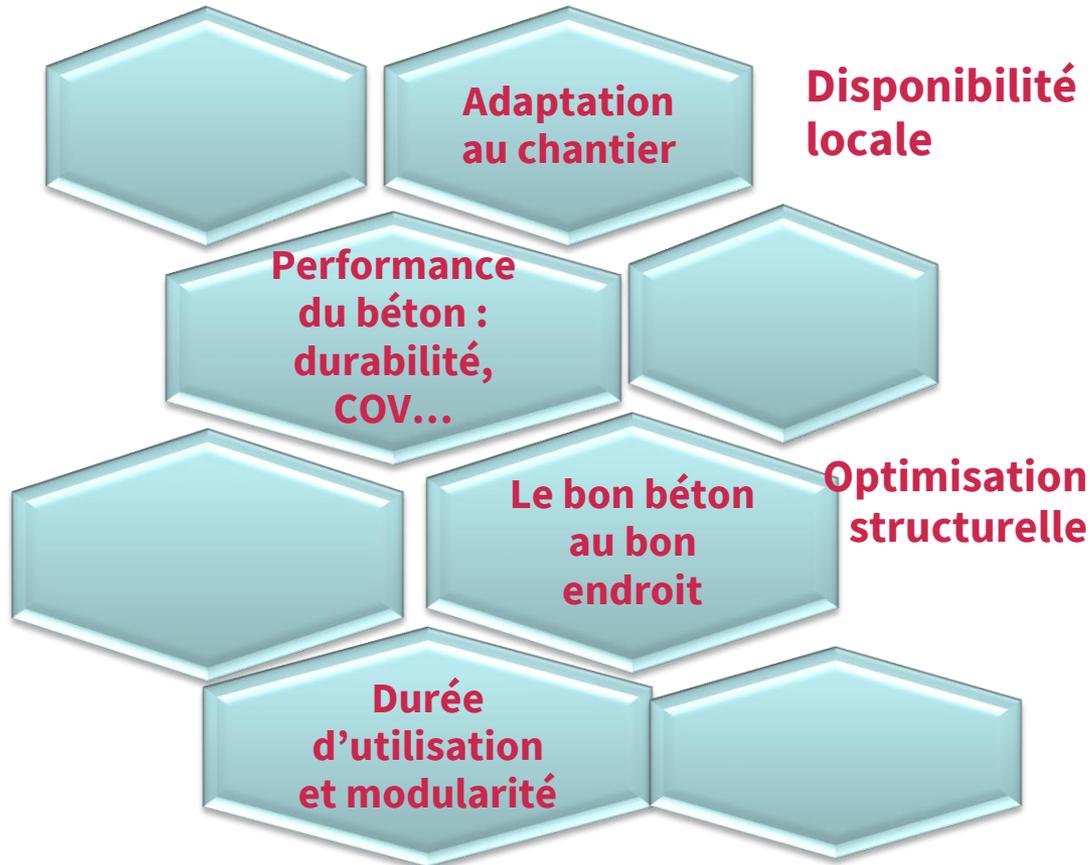
- volume global de béton
- poids propre de l'ouvrage d'où diminution des fondations
- volume de terrassement

La diminution de l'impact global d'un ouvrage ne peut donc se concentrer sur le seul matériau, mais doit faire intervenir l'ensemble des acteurs, et en tout premier le concepteur afin de déterminer la solution optimale et utiliser chaque matériau à l'optimum de ses possibilités

Recommandations à l'usage des maîtres d'ouvrages et des maîtres d'oeuvre

CONCEVOIR UN OUVRAGE DURABLE

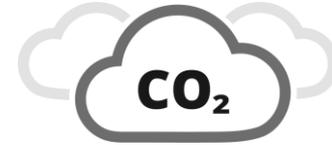
Méthodologie multicritères centrée sur le résultat global



Quelle classe d'exposition ?
Quelle classe de résistance ?
Quelle solution pour mieux s'adapter au chantier ?
Quelle disponibilité locale ?
Quelles données environnementales ?

Recommandations à l'usage des maîtres d'ouvrages et des maîtres d'oeuvre

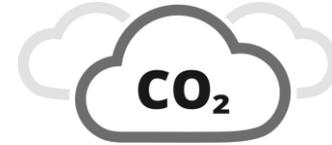
EMPREINTE ENVIRONNEMENTALE D'UN MATÉRIAU



- Le calcul de l'empreinte environnemental d'un matériau de construction doit se faire selon les règles de la NF EN 15804.
- Cette norme définit les « FDES » (Fiches de Déclaration Environnementale et Sanitaire). En France, ces FDES sont regroupées dans la base de données INIES
« [Inies, les données environnementales et sanitaires de référence pour le bâtiment et la RE2020 - Inies](#) »
- Dans le cas du béton, cette norme est complétée par la NF EN 16757 (Règles de catégorie de produits pour le béton et les éléments en béton).
- Depuis novembre 2022, la version de la NF EN 15804 en vigueur en France est la NF EN 15804+A2/CN, néanmoins, les FDES établies selon la version précédente de la norme (NF EN 15804 +A1) restent valides jusqu'à la fin de leur période de validité (5 ans à partir de leur création) mais au plus tard au 1^{er} janvier 2026.



Recommandations à l'usage des maîtres d'ouvrages et des maîtres d'oeuvre



EMPREINTE ENVIRONNEMENTALE D'UN MATÉRIAU

Pour le **béton coulé en place**, le logiciel **BETie** du SNBPE ([BETie \(snbpe.org\)](http://snbpe.org)) permet de calculer l'impact du matériau. A ce jour, la version de la norme utilisée est la version A1, cette version reste utilisable jusqu'à fin mars 2024.

Une nouvelle version, conforme à la NF EN 15804 +A2 devrait être utilisable Courant mars 2024.

BETie

Béton et Impacts Environnementaux

Pour les **produits préfabriqués en béton**, le logiciel **Environnement-IB** (<http://www.environnement-ib.com>) permet de produire des FDES configurées pour des Unités Fonctionnelles spécifiques de 9 familles de produits en béton de structure selon NF EN 15804+A1.



Ne pas imposer une valeur maximale à ne pas dépasser par m³ de béton:
un béton à haute performance peut engendrer une diminution des émissions de CO2 au niveau de l'ouvrage

Recommandations à l'usage des maîtres d'ouvrages et des maîtres d'oeuvre

Groupe d'experts « Solutions Bas Carbone » (P18B/GE SBC)

1 - Ciments :

- CEM I, II, III, IV, V
- CEM II/C-M, VI

2 - Liants avec additions normalisées :

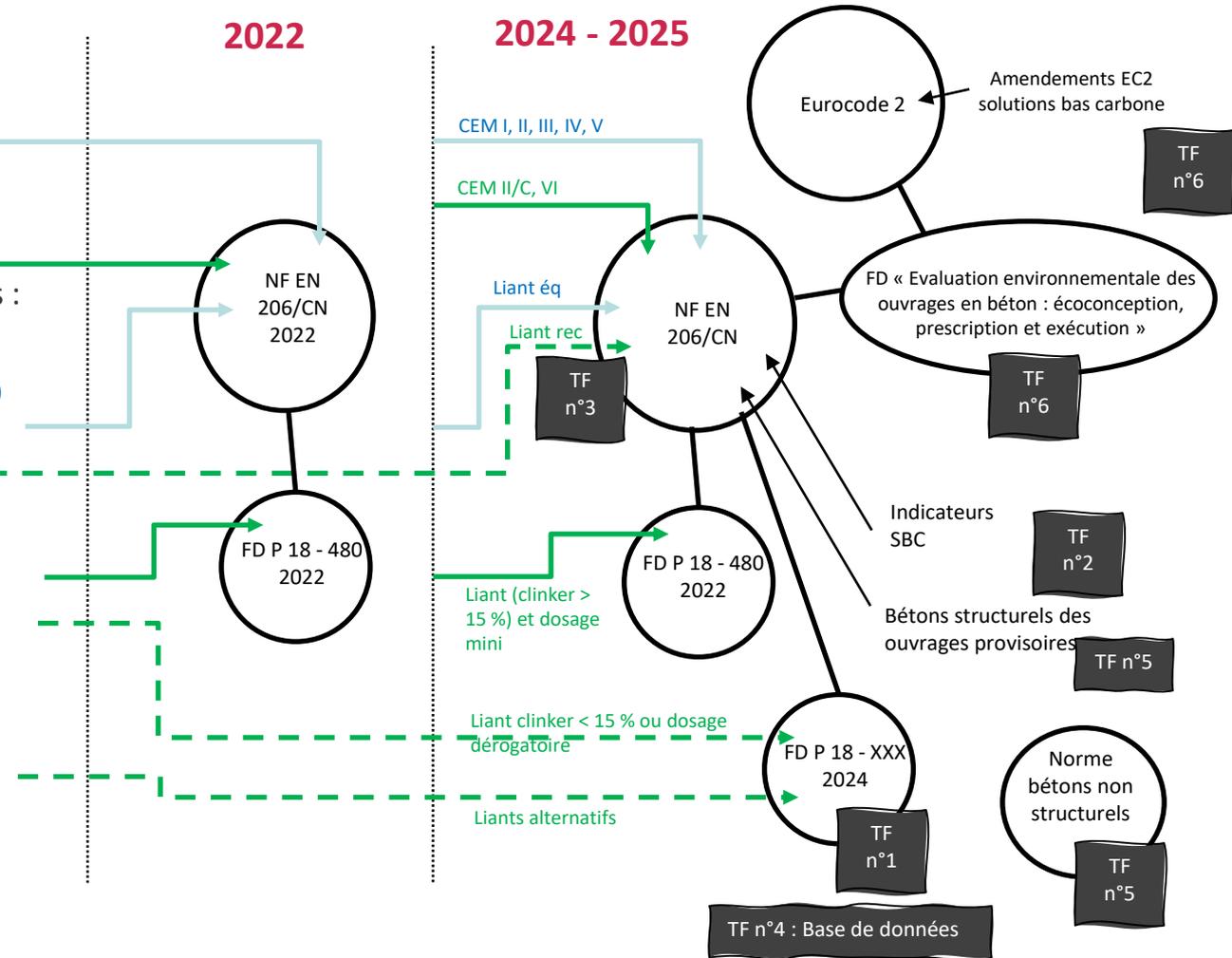
- Approche prescriptive :
 - Liant équivalent ($C+kA$, max $A/(A+C)$)
 - Liants reconstitués ($C+A1+A2...$)
- Approche performantielle :
 - Liant avec clinker > 15 % et dosage mini
 - Liant avec clinker < 15 % ou dosage dérogatoire

3 - Liants alternatifs non couverts actuellement par une norme



2022

2024 - 2025



EMPREINTE ENVIRONNEMENTALE D'UN MATÉRIAU

Il est essentiel de considérer en premier lieu l'échelle de l'**unité fonctionnelle** et pas seulement les émissions de carbone du matériau.

L'impact environnemental des solutions constructives en béton peut être optimisé **par l'une ou l'autre - ou la combinaison - des deux voies** que sont :

- la réduction de leur impact unitaire (éq kg CO₂/m³ de béton) d'autre part.
- la diminution des quantités de béton et/ou d'acier par une meilleure utilisation de leurs performances d'une part et

Recommandations à l'usage des maîtres d'ouvrages et des maîtres d'oeuvre

EMPREINTE ENVIRONNEMENTALE D'UN MATÉRIAU

Lorsque l'unité fonctionnelle est préalablement dimensionnée, la référence à une empreinte carbone concernant le m³ de béton s'entend comme intégrant **toutes les solutions** correspondant à l'un des deux cas suivants :

- **Cas 1** : une structure répondant au dimensionnement tel qu'il a été préalablement défini dont le béton répond à minima à la classe d'empreinte carbone mentionnée.
- **Cas 2** : une structure dont l'optimisation du dimensionnement est telle que les performances en émissions de gaz à effet de serre (GES) à l'échelle de l'unité fonctionnelle sont au moins équivalentes au cas 1 quelque que soit le niveau d'émission du béton utilisé (moins émissif ou plus émissif en GES).

Recommandations à l'usage des maîtres d'ouvrages et des maîtres d'oeuvre

Projet National BHP 2000

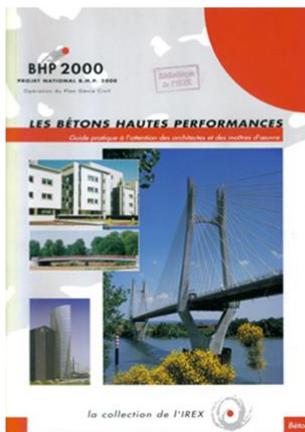


TABLEAU VII

Ratio comparés pour un PS type de 2 travées de 21,50 m :

	Dalle BP traditionnelle B 35	Dalle BP Bourges B 80	Dalle BA Sens B 60
Élancement	1/22	1/30	1/25
Épaisseur	1 m	0,54 à 1 m	0,75 à 1 m
Épaisseur équivalente	0,75 m	0,37 m	0,56 m
Volume de béton	390 m ³	188 m ³	300 m ³
Armatures passives	39 t	39 t	61,5 t
Précontrainte	12 t	8 t	0
Poids du tablier	975 t	520 t	780 t
Coût HT au m ² utile y compris fondations	6 500 F 990,92 €	6 440 F 981,77 €	6 480 F 987,87 €

Recommandations à l'usage des maîtres d'ouvrages et des maîtres d'oeuvre

Calcul (sommaire) d'empreinte CO₂

Hypothèses de travail pour les bétons

B35 (C35/45)	271 kgCO ₂ eq/m ³
B80 (C80/95)	335 kgCO ₂ eq/m ³
Aciers	1140 kgCO ₂ eq/t

	Dalle BP traditionnelle B35 (C35/45)		Dalle BP Bourges B80 (C80/95)	
	Quantité	Emissions kgCO ₂ eq	Quantité	Emissions kgCO ₂ eq
Béton	390 m ³	105 495	188 m ³	62 974
Armatures passives	39 t	44 460	39 t	44 460
Précontrainte	12 t	13 680	8 t	9 120
Total		163 635		116 554
Var /B35				-29%

Pour cet ouvrage, l'emploi de BHP C80/95 permet de réduire l'empreinte carbone de l'ouvrage de 29%

Recommandations à l'usage des maîtres d'ouvrages et des maîtres d'oeuvre

LES LEVIERS POUR RÉDUIRE L'IMPACT CARBONE DES OUVRAGES EN BÉTON

À l'échelle de l'ouvrage : économiser de la matière dès la conception

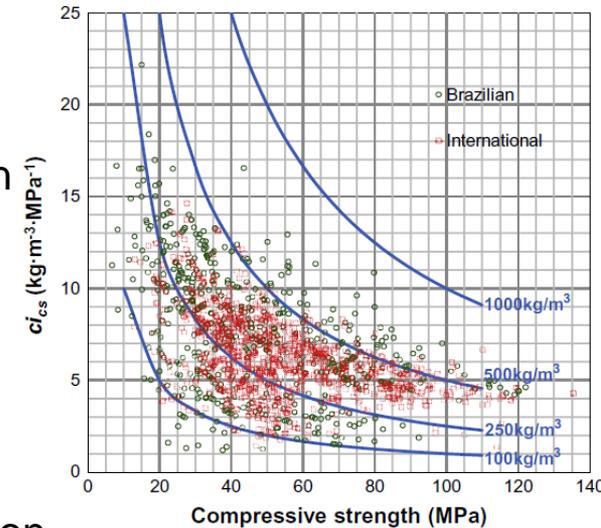
- ➔ Ajuster le choix des classes d'exposition du béton
- ➔ Optimiser le dimensionnement, diminuer les sections de béton
- ➔ Possibilité d'utiliser la précontrainte

$$C_i = \frac{\text{émission } CO_2}{f_{cm}}$$

Damineli et al. (2010)

À l'échelle des process

- ➔ Optimiser la régularité et l'homogénéité des gâchées de béton
- ➔ Veiller à la maîtrise des teneurs en eau des constituants et du béton frais
- ➔ Optimiser les moyens utilisés pour compacter le béton
- ➔ Optimiser les éventuels équipements permettant de réaliser les traitements thermiques



Recommandations à l'usage des maîtres d'ouvrages et des maîtres d'oeuvre

LES LEVIERS POUR RÉDUIRE L'IMPACT CARBONE DES OUVRAGES EN BÉTON

À l'échelle des matériaux

BÉTONS

- Utiliser un liant à empreinte carbone réduite ou bien optimiser la quantité introduite par la formulation Béton
- Optimiser la compacité du squelette granulaire du béton (adjuvantation, diminution du rapport E_{eff}/L)
- Optimiser le compactage du béton

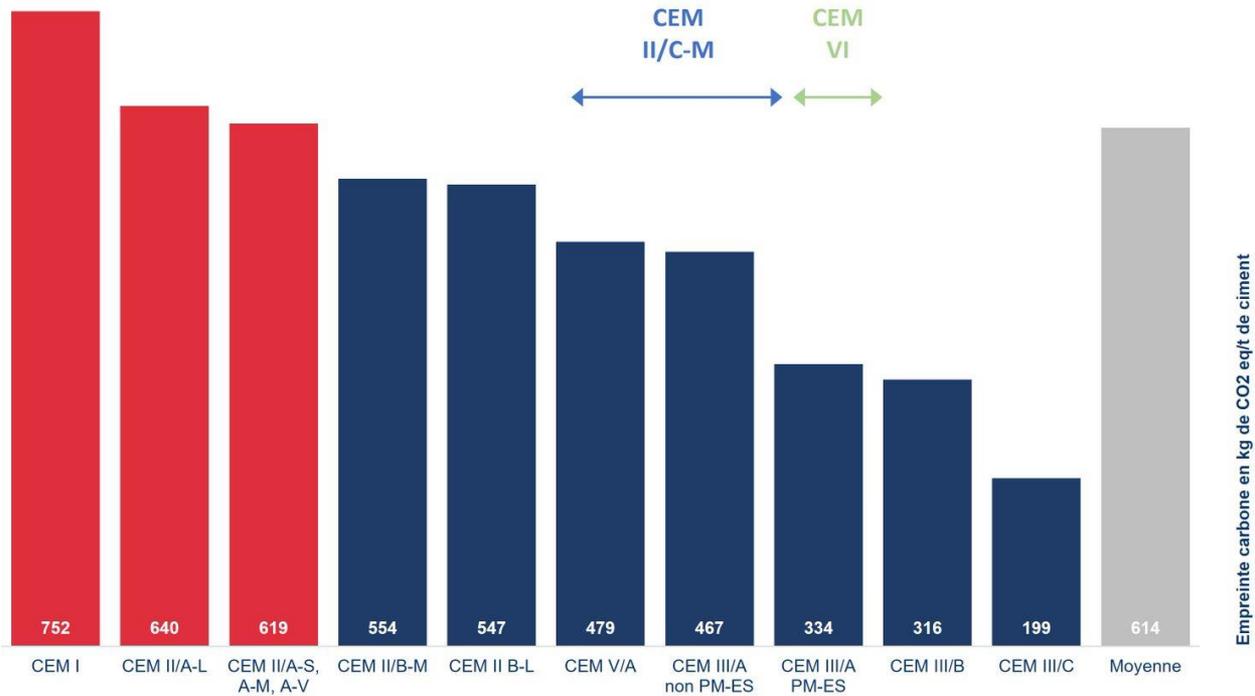
ACIERS

- Augmenter leur module/limite d'élasticité (par ex de 500 MPa à 600 MPa) pour réduire la quantité d'acier nécessaire.
- Développer l'utilisation de coupleurs ou manchons pour limiter les recouvrements entre armatures (consommateurs de matière).
- En fonction des applications, intérêt éventuel (à vérifier au cas par cas) également des fibres, armatures composites...

Recommandations à l'usage des maîtres d'ouvrages et des maîtres d'oeuvre

LES LEVIERS POUR RÉDUIRE L'IMPACT CARBONE DES OUVRAGES EN BÉTON

À l'échelle du matériau : L'empreinte carbone des ciments



Source : moyenne SFIC pour les ciments français, en conformité avec la norme NF EN 15804+A2 et son complément national NF EN 15804+A2/CN.

- ➔ Nouveaux ciments ternaires CEM II/C-M et CEM VI selon NF EN 197-5
 - ➔ Pour maintenir les mêmes performances du béton à jeune âge, il est souvent nécessaire de mettre en œuvre des solutions pour accélérer le durcissement du béton
- Recommandations à l'usage des maîtres d'ouvrages et des maîtres d'oeuvre**

LES LEVIERS POUR RÉDUIRE L'IMPACT CARBONE DES OUVRAGES EN BÉTON

À l'échelle du matériau : L'empreinte carbone des additions minérales

Les additions minérales permettent de diminuer la quantité de clinker dans les bétons :

- ➔ Additions calcaires : 40 à 60 kg eq CO₂/t
- ➔ Additions siliceuses : 40 à 60 kg eq CO₂/t
- ➔ Laitiers de haut fourneaux : 100 kg eq CO₂/t
- ➔ Métakaolins : 139 à 239 kg eq CO₂/t
- ➔ Cendres volantes (après séchage) : 47,5 kg eq CO₂/t
- ➔ Fumées de silice : 354 kg eq CO₂/t



Recommandations à l'usage des maîtres d'ouvrages et des maîtres d'oeuvre

CE QU'IL FAUT RETENIR...

Il est recommandé de considérer en premier lieu l'unité fonctionnelle se rapportant à la partie d'ouvrage. Il convient de jouer sur l'ensemble des leviers possibles : optimisation du dimensionnement et optimisation du matériau.

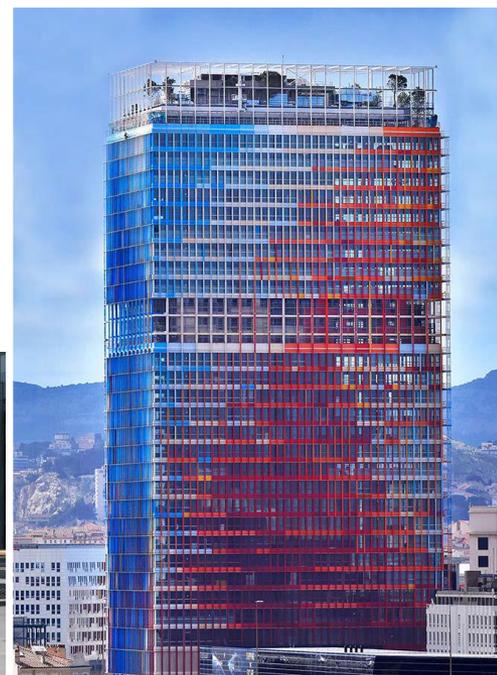
Exemple de rédaction à inclure dans le CCTP

Lorsque l'unité fonctionnelle est préalablement dimensionnée, la référence à une empreinte carbone concernant le m³ de béton s'entend comme intégrant toutes les solutions correspondant à l'un des deux cas suivants :

- Cas 1 : une structure répondant au dimensionnement tel qu'il a été préalablement défini dont le béton répond à minima à la classe d'empreinte carbone mentionnée.
- Cas 2 : une structure dont l'optimisation du dimensionnement est telle que les performances en émissions de gaz à effet de serre (GES) à l'échelle de l'unité fonctionnelle sont au moins équivalentes au cas 1 quelque que soit le niveau d'émission du béton utilisé (moins émissif ou plus émissif en GES).

Recommandations à l'usage des maîtres d'ouvrages et des maîtres d'oeuvre

Merci de votre attention



Recommandations à l'usage des maîtres d'ouvrages et des maîtres d'oeuvre