

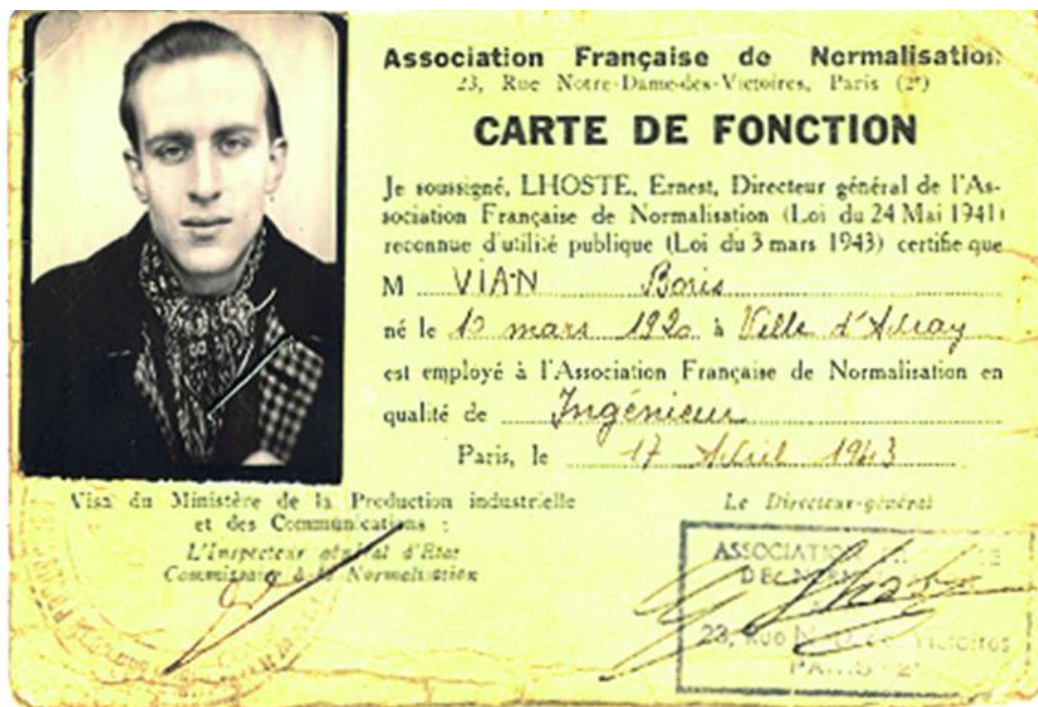
Pour des ouvrages durables et décarbonés, la bonne prescription en 2026

Présentation des évolutions normatives liées au béton

Articulation avec le fascicule 65 (2026)

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

Intérêt de la normalisation ?



BIEN PRESCRIRE LES BETONS

Système 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
Système d'unités pifométriques.

Quantities and units - Nosometrical system of units
Größen und Einheiten - Nasimetrischeinheitensystem.

Norme interne, totalement expérimentale et non éditée 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.

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

- NF EN 206+A2/CN (2025)
- Révision du fascicule 65 du CCTG (2026)

QUALITÉ DES BÉTONS + DURABILITÉ DES OUVRAGES EN BETON

+

DÉCARBONER LES OUVRAGES EN BETON

Ces textes normatifs et réglementaires, en constante évolution imposent aux maitres d'ouvrages et aux maitres 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**

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
 - > **Proposer des rédactions de clauses de marché pour éviter la surprescription.**
- 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.



Règles DUP 50 ans
(NF EN 206+A2/CN)



Règles DUP 100 ans
(fascicule 65, version 2025)



ASSOCIATION FRANÇAISE DE
GÉNIE CIVIL

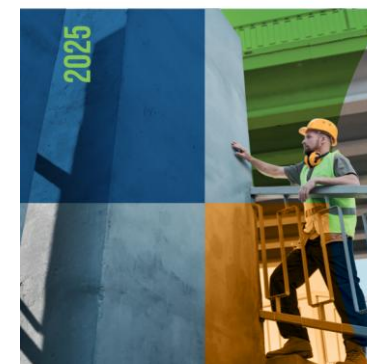


- Fascicule 65: Webinaire AFGC du 19 février 2026: présentation de l'ensemble des évolutions



NF EN 206+A2/CN

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



Cimbéton

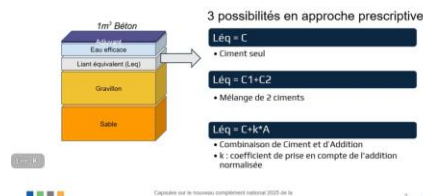
SNBPE

+ guide dédié à l'approche performantielle (à venir)

- NF EN 206+A2/CN:

+
Plaquette
BBC

Liant équivalent « Léq »



Microcapsules



Webinaire

CERIB
Expertise concrète



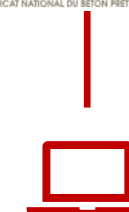
SNBPE
SYNDICAT NATIONAL DU BETON PRET A L'EMPLOI



SNBPE
SYNDICAT NATIONAL DU BETON PRET A L'EMPLOI



SNBPE
SYNDICAT NATIONAL DU BETON PRET A L'EMPLOI



Norme béton NF EN 206+A2/CN (2025) : mäj du complément national et évolutions normatives associées

La norme béton NF EN 206+A2/ CN (2025) a fait l'objet d'un décorticage et vous est présentée sujet par sujet, avec les évolutions 2025 mises en avant. Les cas particuliers de l'évolution du Fascicule 65 (CCTP) et des bétons de génie civil concluent ces articles. Un guide d'aide à la compréhension de la NF EN 206+A2/ CN (2025) est proposé en téléchargement en fin de page ; fruit d'une collaboration entre le SNBPE et Cimbéton, il n'a évidemment pas de vocation à s'y substituer, mais à en accompagner la lecture.

PARTAGER
✉ ✕ 📄 🔍
MES OUTILS
📄 🗂️ 📅

NORME BÉTON

Norme béton NF EN 206+A2/CN (2025) :
Aptitude générale à l'emploi des constituants dans le béton

Evolution 2025 à retenir: l'aptitude générale à l'emploi des ciments NF EN 197-6 est reconnue, mais limitée en usage en méthode performantielle.

NORME BÉTON

Norme béton NF EN 206+A2/CN (2025) :
notions de liant équivalent

La norme NF EN 206+A2/CN précise les valeurs limites spécifiées applicables à la composition et aux propriétés dans les tableaux NAF.1, NAF.2, NAF.3 et NAF.4.

NORME BÉTON

Norme béton NF EN 206+A2/CN (2025) :
marque NF béton prêt à l'emploi

Évolutions 2025 à retenir: la certification NF-BÉTON PRÊT A L'EMPLOI (NF-BPE) permet de valider l'étude préliminaire requise dans le cas des bétons d'ingénierie.

NORME BÉTON

Norme béton NF EN 206+A2/CN (2025) :
livraison du béton et bon de livraison

Évolutions 2025 à retenir - Il y a peu d'évolution, à l'exception des désignations spécifiques pour les bétons qui ont été introduits: pour les bétons formulés par une approche performantielle (à...

NORME BÉTON

La norme béton NF EN 206+A2/ CN (2025) :
exemples de désignation des bétons

Évolutions 2025 à retenir: Introduction d'un nouveau type de béton, le béton pour ouvrage provisoire à durée de chantier, avec la désignation PROV. La commande d'un Béton Prêt à l'Emploi, BPS ou BCP...

NORME BÉTON

Norme béton NF EN 206+A2/CN (2025) :
classes d'exposition des bétons

La norme NF EN 206+A2/CN (2025) définit 19 classes d'exposition, regroupées en 7 « familles », par risque de corrosion, d'attaques ou d'agressions dépendant des actions et conditions environnementales...

NORME BÉTON

Norme béton NF EN 206+A2/ CN (2025) :
exigences spécifiées par la norme

La norme béton NF EN 206+A2/ CN (2025) spécifie les exigences applicables aux constituants, aux propriétés du béton frais et durci et à leur vérification etc., ainsi que celles liées aux classes d...

NORME BÉTON

Norme béton NF EN 206+A2/CN (2025) :
classification des bétons

Évolutions 2025 à retenir: Aucune modification n'a été apportée à la classification des bétons. Les propriétés des bétons à l'état frais et à l'état durci sont prescrites sous forme de différents...

NORME BÉTON

Norme béton NF EN 206+A2/CN (2025) :
valeurs limites spécifiées applicables à la composition et aux propriétés des bétons

La norme européenne NF EN 206+A2/CN (2025) fixe dans une annexe informative les valeurs limites spécifiées relatives à la composition et aux propriétés du béton en fonction de chaque classe d...

NORME BÉTON

Norme béton NF EN 206+A2/CN (2025) :
méthode de conception performantielle

Évolution 2025 à retenir: la méthode de justification de la durabilité des bétons par méthode performantielle définit dans le FD P 18-480 de novembre 2022 s'enrichit d'une nouvelle méthode: - celle...

NORME BÉTON

Norme béton NF EN 206+A2/CN (2025) :
tâches et responsabilités des acteurs

La norme béton NF EN 206+A2/CN (2025) distingue les notions de prescripteur, de producteur du béton et d'utilisateur. Elle définit et donc clarifie les tâches et les responsabilités de chaque acteur.

NORME BÉTON

Norme béton NF EN 206+A2/CN (2022) :
contrôle de production

La norme NF EN 206+A2/CN (2025) décrit très précisément la nature, le type d'essai à réaliser, la fréquence minimale et l'objectif de ces contrôles et les critères de conformité, selon que la...

NORME BÉTON

Norme béton NF EN 206+A2/CN (2025) :
spécification du béton (BPS et BCP)

Évolutions 2025 à retenir: hors leurs désignation particulière (PROV), la spécification des bétons provisoires à durée de chantier suit les règles des BPS.

NORME BÉTON

Norme béton NF EN 206+A2/CN (2025) :
contrôle de conformité

La norme NF EN 206+A2/CN (2025) décrit les bases d'un système qualité du producteur, elle fournit des critères statistiques de conformité et les règles d'évaluation.

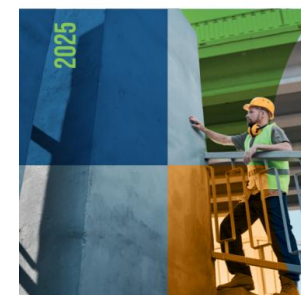
NORME BÉTON

Norme béton NF EN 206+A2/CN (2025) :
cinq types de béton

Évolution 2025 à retenir: - Parmi les BPS, la norme introduit les bétons pour ouvrages provisoires à durée de chantier (PROV) dont les dispositions de formulation figurent à l'annexe NAN. - Parmi...

NF EN 206+A2/CN

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



Cimbéton

SNBPE

NORME BÉTON

Aides au choix des classes d'exposition en génie civil

Chaque partie d'ouvrage est exposée à divers environnements traduits par des classes d'exposition définies dans l'article 4.1 (classes d'exposition en fonction des actions dues à l'environnement) de...



GUIDE DE MISE EN PRATIQUE DE LA NF EN 206+A2/CN (2025)

Télécharger

22 articles

+ guide de lecture : évolutions

Evolution 2025 à retenir: l'aptitude générale à l'emploi des ciments NF EN 197-6 est reconnue, mais limitée en usage en méthode performantielle.



NF EN 206+A2/CN
(Déc. 2025)

Béton « bas carbone » ?

FD P 18-483-2 (Mars 2025)

Ecoconception des structures en béton – Partie 2 : spécification des bétons pour des ouvrages à impact carbone réduit

FD P 18-483-1 (2026?)

Ecoconception des structures en béton – Partie 1 : optimisation des ouvrages en béton pour des conceptions à impact carbone réduit

FD P 18-480 (Juil. 2025)

Béton – Justification de la durabilité des ouvrages en béton par méthode performantielle

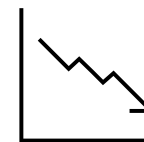
Innovation ?

FD P 18-484 (Juil. 2025)

Béton – Guide d'élaboration d'un dossier technique pour évaluer un nouveau liant ou une nouvelle addition

**En parallèle, révision du fascicule 65 du CCTG Travaux
(à la signature)**

OBJECTIFS

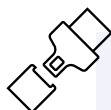


Définir un
objectif GES



Introduction de **classes de réduction de l'impact carbone** (FD P 18-483-2)

Relaxer
certaines
exigences



- Introduction d'une **nouvelle classe d'exposition XC0** pour les voiles intérieurs non armés en environnement sec
- Relaxation des règles de composition pour les **bétons pour ouvrage provisoire à durée de chantier**



Revoir les
règles
prescriptives

- **Ouverture à de nouvelles compositions à base de ciment**
- **Augmenter les taux de substitution de ciment par des additions**
- **Introduction d'un nouveau coefficient k** pour les cendres volantes
- **Clarification des contrôles pour certaines additions** (cendres volantes + laitiers)
- **Extension des bétons d'ingénierie :**
 - Nouvelles combinaisons (ciment + addition)
 - Nouveaux mélanges de ciments

OBJECTIFS



Justifier
autrement la
durabilité



- Extension de la méthode performantielle avec l'approche performantielle par domaine de **composition** (FD P 18-480 amendé)

Sobriété de
dimension-
nement

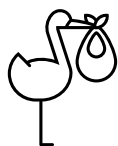


- Minoration de classe d'enrobage selon la nature de liant (classes Xci++)

Encadrer
l'innovation



- **Constitution d'un dossier technique pour un nouveau liant ou une addition** & reconnaissance par évaluation technique (FD P 18-484)



- Constitution d'un dossier de qualification d'un nouveau liant ou d'une nouvelle addition (inspiré du CEN/TR 16 912)
- Selon son degré de « nouveauté », en vue d'évaluer son aptitude à l'emploi dans le béton lorsqu'elle n'est pas établie par une norme
 - Caractérisation physique, chimique et minérale
 - Détermination des caractéristiques liées aux propriétés d'usage et de la durabilité des bétons
 - Evaluation environnementale et sanitaire
 - Propriétés liées à l'usage dans les structures
 - Comportement au feu
 - Comportement au séisme
 - Contrôle
 - REX
- Ne traite pas de l'ensemble des éléments permettant la mise sur le marché d'un nouveau constituant pour bétons (conformité aux règlements REACH, CLP, REP, ...).

Evaluateur
technique
(à date):

- CSTB
- Cerema
- Cerib

Nov. 2022

NF EN 206+A2/CN (≈GBR)

+ FD P 18-480 (approche performantielle à composition unique)



Déc. 2025

NF EN 206+A2/CN (≈Leq, béton d'ingénierie, ouvrage provisoire, ...)

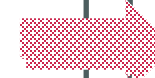
+ FD P 18-480 (+ **ajout de l'approche performantielle par domaine de composition**)

+ **FD P 18-483-2**
(spécification bétons à empreinte carbone réduit)

+ ...

+NF EN 1992-1-1/NA/A1

Bientôt: Fascicule 65 (Livret EDF, ...)



Septembre 2027

NF EN 206-1/CN
NF EN 206-2/CN
NF EN 206-3/CN

+ FD P 18-480
+...

Septembre 2027

Nouvelle génération d'Eurocodes



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

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 complémentaire*
	TOUTES les classes d'exposition Responsabilité du Moa/Moe					
...						

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**)
- **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»

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 ¹⁾																				
	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	XS3e	XS3m	XD1	XD2	XD3	XF1	XF2	XF3 ^{a)}	XF4 ^{a)}	XA1	XA2	XA3 ^{b)}	
Typologie de liant ^{c)}	A ou B	A ou B	A	B	A	B	A ou B	A ou B	A ou B		A	B	A ou B	A ou B	A	B	A ou B	A ou B	A ou B	A ou B	A ou B
Rapport $E_{eff}/liant$ éq maximal ^{d)}	0,60	0,60	0,55	0,50	0,55	0,50	0,50	0,45	0,45		0,55	0,50	0,50	0,45	0,55	0,50	0,45	0,50	0,45	0,50	0,45
Classe de résistance minimale ^{e)}	C25/30 ^{e)}	C25/30 ^{e)}	C30/37		C30/37		C35/45 ^{f)}	C35/45 ^{f)}	C35/45	C40/50	C30/37		C35/45 ^{f)}	C35/45	C30/37		C35/45	C30/37	C35/45 ^{g)}	C30/37	C35/45
Teneur mini en liant éq (kg/m ³) ^{d) h) i)}	280	280	300		300 ^{a)}		330	330	350		300 ^{a)}		330	350	300 ^{a)}		350 ^{l)}	385 ^{k)}	385 ^{k)}	330	350
Absorption d'eau maxi pour les produits préfabriqués en usine (%)	6,5 ^{l)}	6,5 ^{l)}	6,0 ^{l)}		6,0 ^{l)}		5,5 ^{l)}	5,0 ^{l)}	5,0 ^{l)}		6,0 ^{l)}		5,5 ^{l)}	5,0 ^{l)}	6,0 ^{l)}		5,0 ^{l)}		5,5 ^{l)}	5,0 ^{l)}	
Teneur minimale en air (%)	—	—	—		—		—	—	—		—		—	—	—		— ^{j)}	4,0 ^{m)}	4,0 ^{m)}	—	—
Essai(s) de performances ⁿ⁾																	XP P 18-420	NF P 18-424 (ou NF P18-425)	NF P 18-424 (ou NF P 18-425)		
Nature du liant	—	—	—		—		—	PM ^{o)} et facteur de vieillissement $\geq 0,40$ ^{p)}	PM ^{o)} et facteur de vieillissement $\geq 0,40$ ^{p)}	—		—	q)	—		q)	—	q)	r)	r)	
Rapport maximal A/(A+C)	Les valeurs limites applicables au rapport A/(A+C) et la valeur du facteur d'équivalence k permettant le calcul du liant équivalent Leq sont données respectivement aux tableaux 8C et 8.D ci-après																				

Projet fascicule 65 : 2026
(à utiliser avec 8C & 8D)

DECOMPOSITION EN PARTIES D'OUVRAGE TABLEAU DE DEFINITION DES BETONS



IN00034
(2014)

Révision en
cours

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/m³** pour les bétons courants et **385 kg/m³** 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.

AUTRES PARAMETRES NON DEFINIS AU CCTP

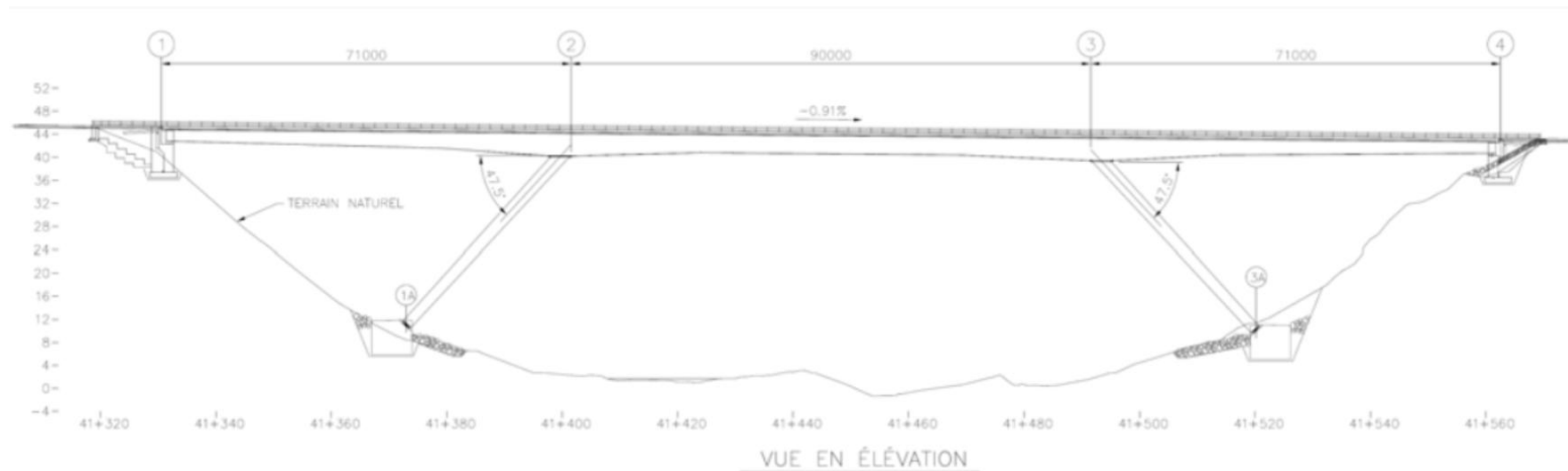
- **Dosages minimaux en liant équivalent** : fixés par les documents de référence (NF EN 206+A2/CN, Fascicule 65, ...)



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).

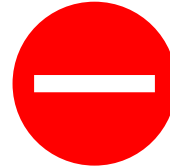
EXEMPLE DE TABLEAU DE DEFINITION DES BETONS (POUR UN PONT EN BÉTON PRÉCONTRAINT DANS UNE ZONE DE GEL MODÉRÉ ET DE SALAGE FRÉQUENT)



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

N° Béton	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
B1	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
B2	Semelles de piles et culées	XC2/XA1	BA	C30/37	B	Cs	
B3PROV	Semelles de palée provisoire	XC2/XA1	BA	C25/30	B	Cs	Conforme à l'annexe NA.N de la norme NF EN 206/CN
B4	Piles et culées non exposées aux sels de déverglaçage	XC4/XF1	BA	C30/37	B	Bs	EQP
B5	Piles et culées exposées aux sels de déverglaçage	XC4/XF2 *	BA	C35/45	B	Bs	EQP Ciment PM, ES ou SR
B6	Tablier précontraint	XC4/XF1	BP	C40/50	B	Bs	Ciment CP1 ou CP2
B7	Corniches préfabriquées	XC4/XF2	BA	C30/37	B	Bs	Ciment PM, ES ou SR

QUELQUES EXEMPLES DE SPECIFICATIONS INADAPTEES



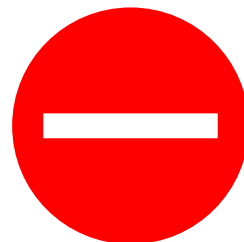
Les granulats doivent être qualifiés non réactifs (NR). Toutefois, des granulats potentiellement réactifs à effet de pessimum (PRP), peuvent être utilisés sous réserve que les deux conditions du chapitre 9 du guide technique "Recommandations pour la prévention des désordres dus à l'alcali-réaction" édité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

RENSEIGNEMENT DU TABLEAU DE DEFINITION DES BETONS

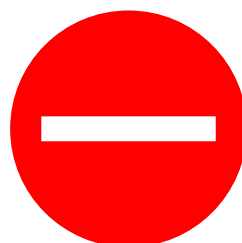
Les formulations des bétons non structuraux et non armés sont en général des BCP selon la norme NF EN 206+A2/CN, associés à la classe d'exposition X0 (exemple pour un béton de propreté : « BCP 150kg/m³ »).

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



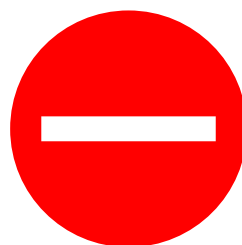
QUELQUES EXEMPLES DE SPECIFICATIONS INADAPTEES

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**

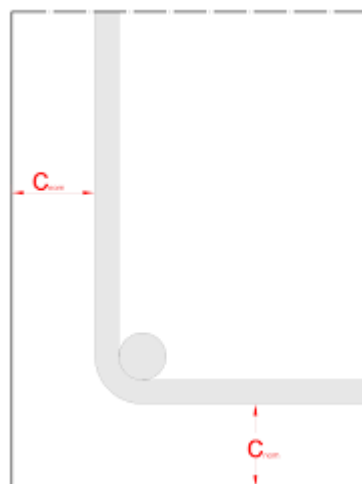
Grosse étude spécifique de durabilité sur un béton non pompable (formulation imposée)

- **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)



REGLES SUR LES ENROBAGES MODULATION DE CLASSE STRUCTURALE



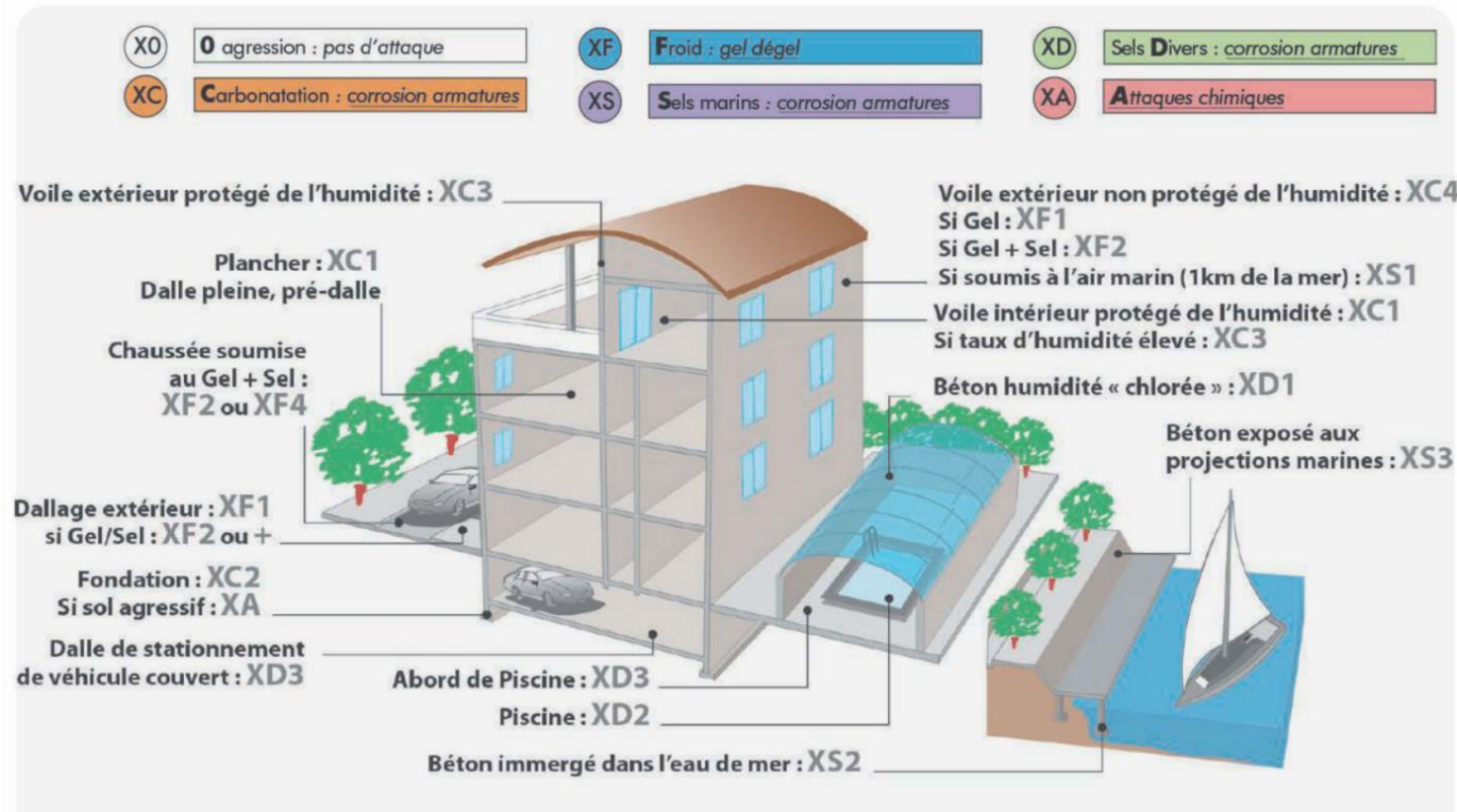
Recommandations à l'usage des maîtres d'ouvrages et des maîtres d'œuvre

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 de bâtiment, 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.

LA CLASSE D'EXPOSITION (NF EN 206/CN)



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**

Seul l'enrobage nominal est précisé sur les plans d'exécution, en tant que référence pour la fabrication et pour la pose des armatures.

La détermination des enrobages est de la responsabilité de l'entreprise.

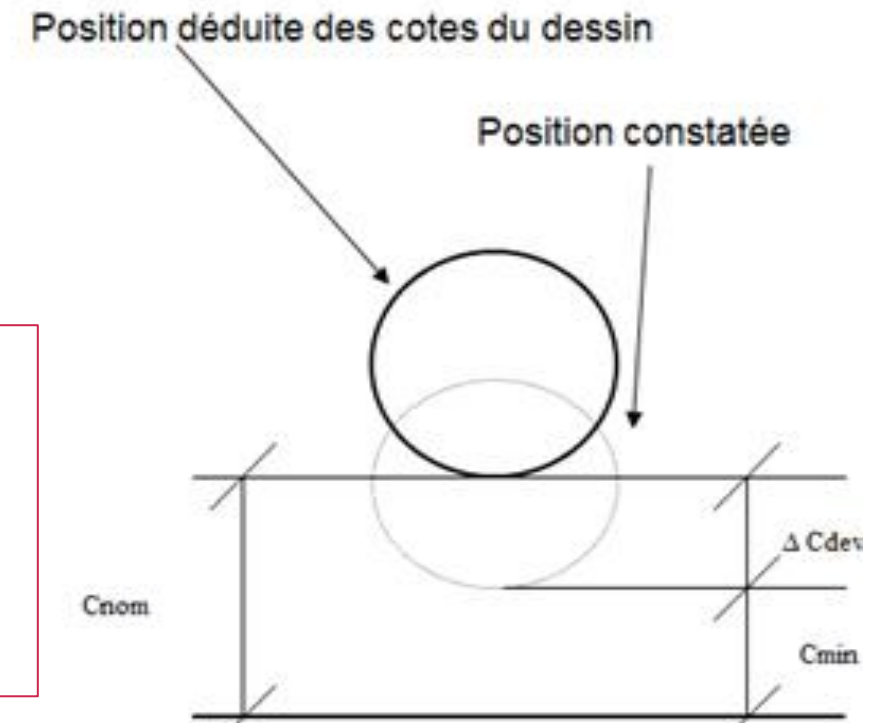
L'enrobage nominal est la somme de l'enrobage minimal nécessaire vis-à-vis

- de la durabilité, établi selon les principes de la norme NF EN 1992-1-1
- d'une marge de sécurité pour tolérances d'exécution.

$$C_{nom} = C_{min} + \Delta C_{dev}$$

$\Delta c_{dev} = 10 \text{ mm}$ (valeur recommandée EC2).

N.B. : Réduction possible sous réserve de conditions strictes de contrôle qualité à la fois sur la conception et l'exécution des ouvrages (*valeur comprise entre 5 et 10 mm*)



DETERMINATION DE L'ENROBAGE

$$C = \max \left[C_{\min, b}; C_{\min, dur} + \Delta C_{dur, y} - \Delta C_{dur, st} - \Delta C_{dur, add} ; 10 \text{ mm} \right]$$

avec :

$C_{\min, b}$ enrobage minimal vis-à-vis des exigences **d'adhérence** (acier / béton),



$C_{\min, dur}$ enrobage minimal vis-à-vis des **conditions d'environnement** (dépend de la classe d'environnement et de la classe structurale),

$\Delta C_{dur, y}$ marge de sécurité (valeur recommandée $\Delta C_{dur, y} = 0 \text{ mm}$),

$\Delta C_{dur, st}$ réduction de l'enrobage minimal dans le cas **d'acier inoxydable**

$\Delta C_{dur, add}$ réduction de l'enrobage minimal dans le cas de **protection supplémentaire**.

DETERMINATION DE L'ENROBAGE - C_{min}

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** (+ *la nature du liant ou les grandeurs associées à la durabilité le cas échéant*)
- 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.

DÉTERMINATION DE L'ENROBAGE MINIMAL VIS-À-VIS DE LA DURABILITÉ $C_{\min, \text{dur}}$

Les valeurs de $C_{\min, \text{dur}}$ (en mm) requises vis-à-vis de la durabilité sont données en fonction de la classe d'exposition et de la classe structurale dans le tableau 4.4N pour les armatures de béton armé

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

Exigence environnementale pour $c_{\min, \text{dur}}$ (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

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

MODULATION DE LA CLASSE STRUCTURALE (selon EC2)

Les modulations possibles de la classe structurale, en fonction de choix particuliers pour le projet :
durée d'utilisation de projet, classe de résistance du béton, nature du ciment, compacité du béton d'enrobage

Ces modulations de la classe structurale, pour déterminer l'enrobage minimal $C_{\min, \text{dur}}$ sont définies dans le tableau 4.3 NF de l'Annexe Nationale de la norme NF EN 1992-1-1.

Modulation(s) en fonction de :

- La Durée Utile du Projet
 - La classe de résistance du béton
 - La nature du liant
 - La compacité de l'enrobage
- } Ou bien justification par approche performantielle

DÉTERMINATION DE L'ENROBAGE MINIMAL VIS-À-VIS DE LA DURABILITÉ $c_{\min, \text{dur}}$ – Approche prescriptive

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

Classe Structurale	Exigence environnementale pour $c_{\min, \text{dur}}$ (mm)		
	Classe d'exposition selon Tableau 4.1		
	X0	XC1	XC2 / XC3
S1	10	10	10
S2	10	10	15
S3	10	10	20
S4	10	15	25
S5	15	20	30
S6	20	25	35

Ex: Possibilité de valoriser la compacité du béton d'enrobage

Ex: Possibilité de minorer d'une classe structurale en fonction de la nature du liant

Ex: Possibilité de minorer d'une classe structurale si f_{ck} (résistance à la compression caractéristique du béton) supérieure

Béton répondant au Fasc.65, tableau 8B

Rq : Cumulation possible dans le cas de minoration ou bien de majoration de la classe structurale.

DÉTERMINATION DE L'ENROBAGE MINIMAL VIS-À-VIS DE LA DURABILITÉ $c_{\min, \text{dur}}$ – Approche performantielle

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

Exigence environnementale pour $c_{\min, \text{dur}}$ (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				
S4	10	15	25				
S5	15	20	30				
S6	20	25	35				

Possibilité de valoriser la compacité du béton d'enrobage

FD P 18-480 : respect des seuils encore renforcés (Vitesse de carbonatation ou porosité) – diminution de deux classes structurales (10 mm)

FD P 18-480 : respect des seuils renforcés (Vitesse de carbonatation ou porosité) – diminution d'une classe structurale (5 mm)

FD P 18-480 : respect des seuils de base des grandeurs de durabilité
(Vitesse de carbonatation et/ou porosité selon le cas)

- Nouvelle version du Tableau 4.3NF de la norme NF EN 1992-1-1/NA/A1 :
 - Document publié en Décembre 2025

Regroupement
des exigences XC3
avec XC4

Mise à jour des
exigences sur la
nature du liant et
classe mécanique
associées avec
données PerfDuB

NEW

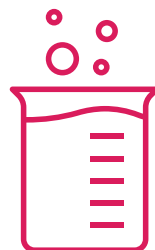
Tableau 4.3NF — Modulations de la classe structurale recommandée, en vue de la détermination
des enrobages minimaux $c_{min,dur}$ dans les Tableaux 4.4N et 4.5NF

Critère	Classe d'exposition selon Tableau 4.1						
	X0	XC0/XC1	XC2	XC3/XC4	XD1/XS1/ XA1 ⁷⁾	XD2/XS2/ XA2 ⁷⁾	XD3/XS3/ XA3 ⁷⁾
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	XC1(++)³⁾ XC2(++)³⁾ XC3(++)³⁾ XC4(++)³⁾						
	Béton conforme aux règles de l'annexe NAF de la norme NF EN 206+A2/CN⁴⁾ et de classe $\geq C35/45$ à base de : - soit du CEM I sans addition, - soit du CEM I avec addition ⁵⁾ calcaire, laitier granulé de haut-fourneau, cendres volantes ou métakaolin. Béton conforme aux règles de l'annexe NAF de la norme NF EN 206+A2/CN⁴⁾ et de classe $\geq C40/50$ à base de : - soit du CEM I sans addition, - soit du CEM I avec addition ⁵⁾ calcaire ou laitier granulé de haut-fourneau, - soit du CEM II/A-L ou -LL, du CEM II/A-S, ou du CEM II/A-M (S, L) ou du CEM II/M (S-LL) Béton conforme aux règles de l'annexe NAF de la norme NF EN 206+A2/CN et classe $\geq C45/55$ à base de : - soit du CEM I avec addition ⁵⁾ cendres volantes ou métakaolin, - soit du CEM II/A-V ou du CEM II/A-Q, - soit du CEM II/A-M.						
Enrobage compact ⁶⁾	minoration de 1	minoration de 1	minoration de 1	minoration de 1	minoration de 1	minoration de 1	minoration de 1

- 1) *Par souci de simplicité, la classe de résistance joue ici le rôle d'un indicateur de durabilité pour les bétons formulés selon les règles de l'annexe NA.F de norme NF EN 206+A2/CN. De façon alternative, il est possible d'appliquer une minoration d'une ou deux classes structurales sur la base des grandeurs associées à la durabilité au sens de l'approche performantielle en se référant au fascicule de documentation FD P 18-480, annexe A.*
- 2) *Cette règle traduit la contribution de la nature chimique du liant à la résistance à la carbonatation en complément à la modulation d'une classe issue du critère sur la classe de résistance pour les bétons formulés selon les règles de l'annexe NA.F de norme NF EN 206+A2/CN.*
- 3) *La mention XCi(++) et la référence au tableau 4.3NF sont des données complémentaires lors de la prescription du béton et font partie des spécifications d'exécution.*
- 4) *La norme NF EN 206+A2/CN permet d'utiliser des additions non prises en compte dans le calcul du liant équivalent, en complément des ciments ou des combinaisons autorisés. Dans ce cadre, seules les additions calcaires (NF P 18-508) et siliceuses (NF P 18-509) sont autorisées pour cette ligne du tableau.*
- 5) *Application des règles de l'annexe NA.F de norme NF EN 206+A2/CN, sans excéder $A/(A+C) \leq 0,20$.*
- 6) *Ce critère ne s'applique que dans le cas des éléments pour lesquels une bonne compacité des enrobages peut être garantie, à savoir :*
 - *face coffrée des éléments plans (assimilables à des dalles, éventuellement nervurées, préfabriquées ou coulées en place), coulés horizontalement sur coffrages industriels ; ceci s'applique également à la face non coffrée des dalles d'épaisseur inférieure ou égale à 250 mm en classe d'exposition XC1 ;*
 - *éléments préfabriqués industriellement : éléments extrudés ou filés, ou faces coffrées des éléments coulés dans des coffrages métalliques ;*
 - *sous face des dalles de pont, éventuellement nervurées, sous réserve de l'accessibilité du fond de coffrage aux dispositifs de vibration.*
- 7) *Pour les classes d'exposition XAi, cette correspondance est indicative sous réserve d'une justification de la nature de l'agent agressif.*

EXIGENCES FONDAMENTALES POUR LA COMPOSITION DU BÉTON

MÉTHODE PRESCRIPTIVE



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

Pour une partie d'ouvrage donnée,



Classe(s) d'exposition

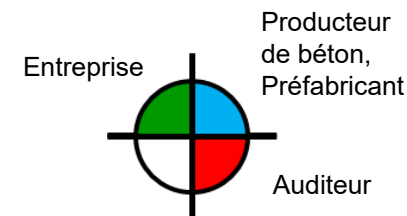
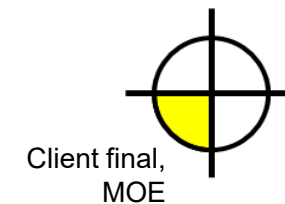
+

**Durée utile du projet
(DUP)**



Formule de béton conforme :

- à la norme NF EN 206+A2/CN (DUP 50 ans)
- au Fascicule 65 (si DUP 100 ans)



Méthode prescriptive

Méthode performantielle

Exigences fondamentales pour la composition du béton

- Type et classes de constituants
 - Type de ciment, type d'addition
 - Codes des granulats pour béton $\geq$ C35/45
 - % maximal de gravillon ou sable recyclé
 - Granulats autorisés en cas de gel sévère ou en milieu chimique agressif
- Teneur minimale en Liant équivalent (L_{eq})
et rapport maximal E_{eff} / L_{eq}
ou
Absorption d'eau maxi du béton (en %)
et rapport maximal E_{eff} / L_{eq}
(alternative possible pour les produits préfabriqués en usine)
- Résistance mécanique minimale
- *Le cas échéant* : % air minimal



→ Valeurs limites pour garantir la durabilité

Exigences supplémentaires : en cas de risque de réaction alcali-granulats, réaction sulfatique interne.

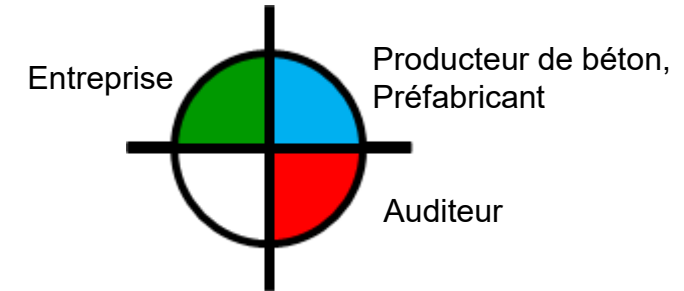


Textes de référence

- Si Durée Utile du Projet **DUP = 50 ans** :



Bâtiments



Documents de référence pour les valeurs limites pour le béton :

La norme Béton NF EN 206+A2/CN
+ Règles communes aux produits préfabriqués (NF EN 13369)
+
DTU 21



Textes de référence

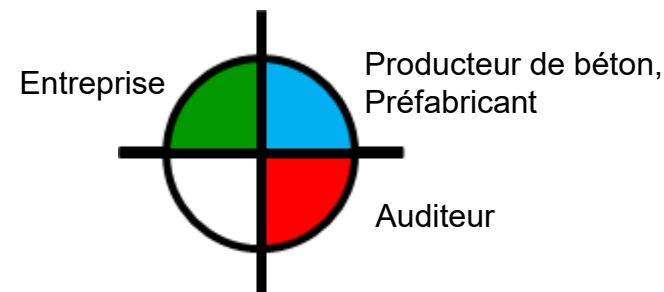
- Si Durée Utile du Projet **DUP = 100 ans** :



Ouvrages de Génie Civil, Bâtiments exceptionnels



Documents de référence pour les valeurs limites :

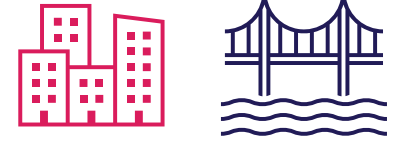


La norme Béton NF EN 206+A2/CN
+ Règles communes aux produits préfabriqués (NF EN 13369)
+

Fascicule 65

Dont le **Chapitre 8, §8.1** avec les **tableaux 8B à 8E**
(Rq : adaptation de la norme Béton à des ouvrages de génie civil
pour une durée d'utilisation de 100 ans)

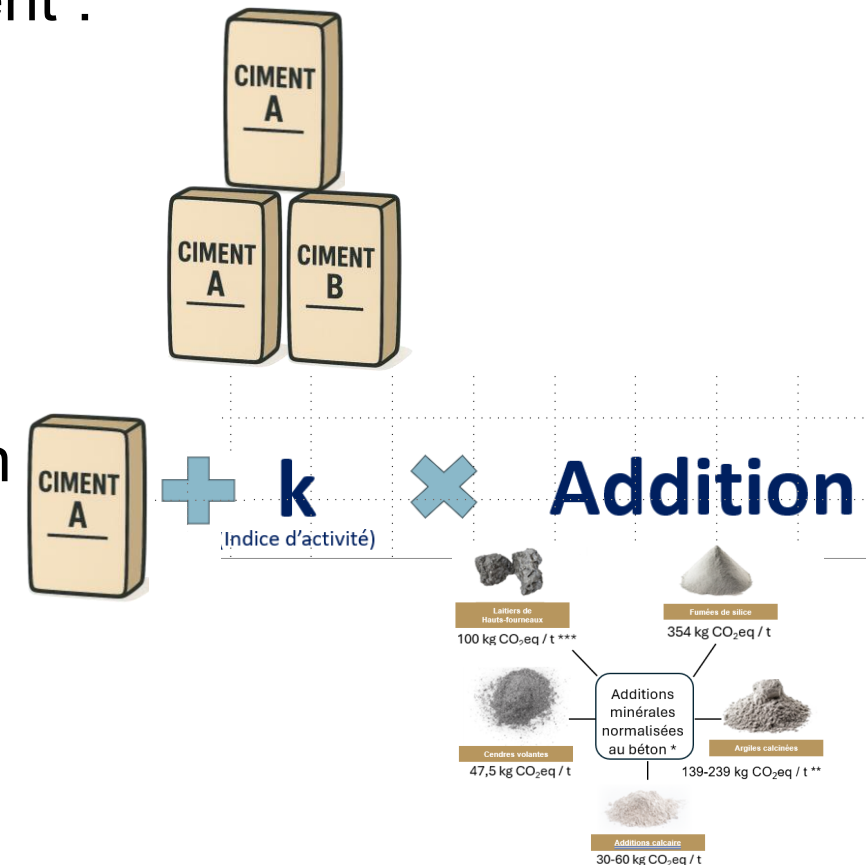
NB : D'autres référentiels peuvent être imposés selon les marchés : CCTG EDF ou SNCF (IN00034)...



Liant équivalent du béton

3 cas de figures possibles pour le liant équivalent :

- $L_{eq} = C$, avec un ciment ;
- $L_{eq} = C$, avec deux ciments ;
- $L_{eq} = C + k \cdot A$, avec un ciment et une addition



* Sources : Ressources minérales pour les liants des bétons décarbonés : disponibilité, perspectives d'évolution et innovations (Cenb, Septembre 2022)
 ** @Argesco : 170 kg CO₂eq / t
 *** @Ecocecem : 102 / 106 kg CO₂eq / tonne



Liant équivalent du béton

Si $L_{eq} = C$ (1 ciment)

1 ciment autorisé par la NF EN 206+A2/CN

(hormis NF EN 197-6 : en approche performantielle uniquement – **amendement en cours**)



Si $L_{eq} = C_1 + C_2$ (2 ciments de même fournisseur)

1 ciment CEM I **NEW** **ou CEM II/A ou CEM II/B**

- Conforme à la norme NF EN 197-1
- CEM II/A-M et CEM II/B-M exclus
- Détenteur de la marque NF-LH

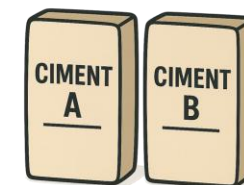
+

1 autre ciment

- Conforme NF EN 197-1 ou -5
- Détenteur de la marque NF-LH



**La composition finale correspond à une
composition de ciment NF EN 197-1 ou -5**





Liant équivalent du béton



$$\text{Si } L_{eq} = C + k \cdot A,$$

NEW

avec

- **C**, un ciment de type **CEM I**, **CEM II/A**, **CEM II/B** ou **CEM III/A** de classe mécanique **42,5** ou **52,5**.

NB : certaines exigences sur les ciments à appliquer selon l'addition et la classe d'exposition (précisées dans annotations des Tableaux NA.F)

- **A**, une addition normalisée pouvant être comptabilisée dans L_{eq} :

- Addition calcaire Cat A,
- Addition calcaire Cat B,
- Addition siliceuse, minéralogie Qz,
- Cendres volantes,
- Fumées de silice,
- Métakaolin Type A,
- Laitier Moulu.



* Sources: Ressources minérales pour les liants des bétons décarbonés : disponibilité, perspectives d'évolution et innovations (Cerib, Septembre 2022)

** @Argeco : 170 kg CO₂ eq / t

*** @Ecocem : 102 / 106 kg CO₂ eq / tonne



Valeurs de 'k' à appliquer pour $Leq = C + k \cdot A$



Tableau 8D

Valeurs du coefficient k
selon le type d'addition



NB : A appliquer avec le
tableau NA.9b de la norme
Béton NF EN 206+A2/CN

Dénomination de l'addition	Valeur du coefficient k	Conditions supplémentaires à remplir par rapport aux exigences des normes de spécifications des additions considérées
Additions de type II		
Cendres volantes	0,70	Si $i_{28} \geq 0,87$ et $i_{90} \geq 0,99$
	0,60	Si $i_{28} \geq 0,83$ et $i_{90} \geq 0,95$
	0,50	Si $i_{28} \geq 0,80$ et $i_{90} \geq 0,90$
	0,40	Sans objet
Fumées de silice	2,00	Dans les classes d'expositions XA : $E_{eff}/L_{eq} \leq 0,45$ et $C \geq 295 \text{ kg/m}^3$ Dans les classes d'expositions différentes de XA : $E_{eff}/L_{eq} \leq 0,45$ et $C \geq 280 \text{ kg/m}^3$
	1,00	Dans les autres cas ou sur prescription particulière.
Laitiers vitrifiés moulus de haut-fourneau	0,90	Si $i_7 \geq 0,65$ et $i_{28} \geq 0,85$ (classes A et B)
	0,60	Sans objet (classe C)
Métakaolins de type A	1,00	Sans objet
Additions de type I		
Additions calcaires	0,25	Sans objet
Additions siliceuses de minéralogie Qz	0,25	Sans objet
Toutes additions		
Pour les quantités d'additions dépassant les valeurs indiquées dans les Tableaux NA.F de la norme NF EN 206/CN et pour les autres ciments ou les autres additions que celles mentionnées dans NA.5.2.5.2.1 de cette norme	0,00	

NEW



Critères à satisfaire pour le choix de "k"



Tableau NA9b Critères statistiques de justification pour les laitiers moulus et les cendres volantes

Type d'addition	Valeur de k	Spécifications	Fréquence mini	Valeur moyenne mini (12 mois glissants)	Nombre maxi de valeurs < valeur moyenne mini et > valeur limite mini absolue (12 mois glissants)	Valeur limite mini absolue
Cendres volantes	0,7					
	0,6	Spécifications et critères statistiques selon valeur de k visée				
	0,5					
	0,4	Pas d'exigences supplémentaires par rapport à la norme NF EN 450-1				
Laitiers moulus	0,9 Classe A	Spécifications et critères statistiques selon valeur de k visée				
	0,9 Classe B					
	0,6	Pas d'exigences supplémentaires par rapport à la norme NF EN 15167-1				

Exigences prélèvements et mesures (Contrôles faits par un laboratoire compétent et indépendant (par exemple accrédité) selon fréquences indiquées)

- Prélèvements et mesures par un laboratoire indépendant et compétent
- Résultats des mesures transmis par le fournisseur d'addition.
- Le producteur de béton applique la valeur de k en fonction des valeurs transmises.



Valeurs limites des bétons – DUP 50 ans



NF EN 206+A2/CN :

- Chapitre 5
- Annexe NA.F et ses tableaux NA.F.1 à NA.F.4



Tableaux pour les valeurs limites – DUP 50 ans

➡ Si $L_{eq} = C$ ou si $L_{eq} = C_1 + C_2$, aiguillage selon le tableau NA.10a de la NF EN 206+A2/CN

	Colonne A			Colonne B		
	Ciment(s)	Tableau NA.F	Contexte des bétons d'ingénierie	Ciment(s)	Tableau NA.F	Contexte des bétons d'ingénierie
Ciment	Types de ciments	Tableau NA.F.1 ou NA.F.2	Non concerné	Types de ciments	Tableau NA.F.3 ou NA.F.4	Non concerné
Mélanges de deux ciments			Concerné			Concerné

NB : Tableaux NA.F.1 et NA.F.3 : applicables aux bétons coulés en place et préfabriqués en usine
Tableaux NA.F.2 et NA.F.4 : réservés aux bétons préfabriqués en usine



Tableaux pour les valeurs limites – DUP 50 ans

➡ Si $L_{eq} = C + k \cdot A$, aiguillage selon le tableau NA.10b de la NF EN 206+A2/CN

	Tableau NA.F
Hors béton d'ingénierie Type 2	Tableau NA.F.1 ou NA.F.2
Béton d'ingénierie Type 2	Tableau NA.F.3 ou NA.F.4

Taux d'addition ($A/(A+C)$) plus élevé,
sous conditions de satisfaire des
exigences complémentaires

NB : Tableaux NA.F.1 et NA.F.3 : applicables aux bétons coulés en place et préfabriqués en usine
Tableaux NA.F.2 et NA.F.4 : réservés aux bétons préfabriqués en usine



Les Bétons d'ingénierie (2025) - DUP 50 ans

Types :

Type 1 :

Bétons comportant
un **mélange de deux ciments**

Type 2 :

Bétons comportant des additions à **taux de substitution augmenté** par rapport aux limites des tableaux NA.F.1 et NA.F.2

Type 3 :

Bétons comportant certaines **combinaisons (ciment + addition), relevant de classes d'exposition XA**, définis comme des **bétons d'ingénierie** par le **FD P 18-011** (tableau 2.c)

Procédure :

1

Etude préliminaire

Réalisée sous la responsabilité du prescripteur **ou du producteur de béton**

- Gâchée nominale à minima avec essais de consistance et de résistance en compression
- Des gâchées complémentaires peuvent compléter l'étude

Les résultats doivent être conformes et **respecter la condition 1 *** :

$$\text{Condition 1}^* : f_{CE} \geq f_{ck} + 2 S$$

3

Acceptation

Le béton d'ingénierie doit être accepté par le producteur et l'utilisateur du béton

2

Validation de l'étude préliminaire

- Par **tierce partie** indépendante et compétente
- **ou par certification de produit** (la conformité à la marque NF Produits ou équivalent vaut pour validation)
- **ou**, à défaut, doit être soumise à l'acceptation du maître d'œuvre

4

Contrôle de production

La fabrication des bétons d'ingénierie est soumise à un contrôle de conformité spécifique défini dans le plan qualité du producteur.

* : Dans le cas d'un béton d'ingénierie contenant CEM I + laitier moulu de classe A, et pour les classes d'expositions XS2, XS3, XD2, XD3, XA1, XA2 et XA3 : une condition complémentaire est demandée : Condition 2 : $(f_{CE} \geq f_{ck} + \lambda (C_E - C_{min}))$ et des exigences complémentaires sont à apporter sur le ciment et le laitier



Les Bétons d'ingénierie (2025) - DUP 50 ans

NF EN 206+A2/CN (2025) :

Tableau NA.F.3 — Valeurs limites applicables en France en fonction de la classe d'exposition pour la composition et les propriétés des bétons composés d'un ciment ou d'un mélange de deux ciments de la colonne B du tableau NA.10a ou d'une combinaison (ciment + addition) pour les bétons d'ingénierie de type 2

		X0	XC0	XC1	XC2	XC3	XC4	XS1	XS2	XS3 XS3e XS3m	XD1	XD2	XD3 XD3f XD3tf	XF1	XF2	XF3 a)	XF4 a)	XA1	XA2	XA3
	Rapport $E_{rel}/E_{rel,max}$ maximum b)		0.70	0.65	0.65	0.55	0.55	0.55	0.55	0.50	0.55	0.55	0.50	0.55	0.55	0.55	0.45	0.55	0.50	0.45
	Classe de résistance minimale		C16/20	C20/25	C20/25	C30/37	C30/37	C30/37	C30/37	C35/45	C30/37	C30/37	C35/45	C30/37	C25/30	C30/37	C30/37	C30/37	C35/45	C40/50
	Teneur mini en E_{rel} b) c)	150	240 o)	260	260	280	280	330	330	350	280	330	350	280	300	315	340	330	350	360
	Nature du ciment								PM g)	PM g) k)			b)				b)	FD P18-011	FD P18-011	FD P18-011
	Teneur minimale en air j)														4 d) i)	4 d)	4 d)			
	Essais de performance j)														NF P 18-425 et XP P 18-420	NF P 18-425 (ou NF P 18-424)	NF P 18-425 (ou NF P 18-424) et XP P 18-420			
Rapport Maximal $A_f/(A+C)$ selon la définition du paragraphe NA.5.2.2.1	Combinaison CEM I + Addition	Addition calcaire cat. A																		
		Laitier moulu classe A x)		0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.55	0.55	0.50	0.55	0.55	0.50	0.50	0.50	0,50 m)	0,60	0,60	0,60
	Combinaison CEM III/A + Addition	Addition calcaire cat. A v)	0,25	0,25	0,25	0,25					0,25			0,25						
		Laitier moulu classe A					0,40	0,45	0,50	0,50	0,40	0,50	0,50	0,40	0,35	0,35	0,35 m)			0,30
	Combinaison CEM II/B + Addition (I)	Addition calcaire cat. A w)					0,15				0,15			0,15						
		Fumées de silice f)		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 classe A		0,35	0,35	0,30	0,30	0,35	0,40	0,40	0,30	0,40	0,40	0,30	0,25	0,25	0,25 m)	0,40	0,40	0,40
	Combinaison CEM III/A des col A & B + Addition	Addition calcaire cat. A		0,10	0,10	0,10	0,10				0,10			0,10						
	Combinaison CEM III/A de la col. A + Addition	Cendres volantes		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
		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
		Métakaolin type A		0,20	0,20			0,20	0,20	0,20		0,20				0,15		0,15	0,15	0,15

Exemple 1

Exemple 3

Exemple 2



Les Bétons d'ingénierie (2025) - DUP 50 ans

EXEMPLE 1

Béton C20/25 XC1 XC2 CEM II/A-S + Addition Calcaire de cat. A

$(A/A+C)_{\max i} = 0,25$; $k = 0,25$; $L_{\text{eq min}} : 260 \text{ kg/m}^3$
Ciment CEM II/A-S : 240 kg/m^3
Addition calcaire cat A : 80 kg/m^3

Béton d'ingénierie de Type 2 – tableau NA.F.3

Hypothèses:

- Etude préliminaire réalisée **par un laboratoire extérieur**
- La centrale à béton **n'a pas le marquage NF-BPE**

Conclusions :

- Les **résultats** de l'étude préliminaire sont probants et la **condition 1** est respectée.
- La **validation** de l'étude préliminaire est réalisée par une tierce partie indépendante et compétente

BIPS C20/25 XC2 D20 S4 CEM II/A-S + L

EXEMPLE 2

Béton C30/37 XC3 XC4 XD1 XF1 CEM III/A + Cendres Volantes

$(A/A+C)_{\max i} = 0,15$; $k = 0,7$; $L_{\text{eq min}} : 280 \text{ kg/m}^3$
Ciment CEM III/A : 249 kg/m^3
Cendres Volantes : 44 kg/m^3

Béton d'ingénierie de Type 2 – tableau NA.F.3

Hypothèses:

- Etude préliminaire réalisée **par le producteur de béton**
- La centrale à béton est **marquée NF-BPE**

Conclusions :

- Les **résultats** de l'étude préliminaire sont probants et la **condition 1** est respectée.
- La marque NF vaut pour **validation**

BIPS C30/37 XF1 D20 S4 CEM III/A + V

EXEMPLE 3

Béton C35/45 XA2 CEM I + Laitier moulu de classe A

$(A/A+C)_{\max i} = 0,6$; $k = 0,9$; $L_{\text{eq min}} : 350 \text{ kg/m}^3$
Ciment CEM I (non PM ES) : 149 kg/m^3
Laitier moulu de classe A : 223 kg/m^3

Le liant est conforme au FD P18 011 (tableau 2C)
Béton d'ingénierie de Type 2 et 3 – tableau NA.F.3

Hypothèses:

- Etude préliminaire réalisée par le **producteur de béton**
- La centrale à béton est **marquée NF-BPE**

Conclusions :

- Les résultats de l'étude préliminaire sont probants et les **conditions 1 et 2** sont respectées.
- La marque NF vaut pour **validation**

BIPS C35/45 XA2 D22,4 S4 CEM I + S



Les Bétons d'ingénierie - DUP 100 ans

- **Ouvrages de Génie Civil et Bâtiments exceptionnels** (Durée Utile du Projet de 100 ans)

Documents de référence :

NF EN 206/CN
+
Fascicule 65

Les exigences pour les bétons d'ingénierie sont validées de fait dans le cadre du Fascicule 65
en raison des épreuves d'étude, convenance et contrôle et les étapes de validation imposées.



Tableaux à appliquer pour les valeurs limites – DUP 100 ans

- Projet fascicule 65 -



Tableau 8B : Valeurs limites applicables selon le **fascicule 65** pour la composition et les propriétés du béton en fonction de la classe d'exposition (DUP 100 ans)

	Classes d'exposition																				
	Corrosion induite par carbonatation						Corrosion induite par les chlorures				Chlorures autres que l'eau de mer			Attaque gel / dégel					Environnements chimiquement agressifs		
	XC1	XC2	XC3		XC4		XS1	XS2	XS3e	XS3m	XD1	XD2	XD3	XF1		XF2	XF3 a)	XF4 a)	XA1	XA2	XA3 b)
Typologie de liant c)	A ou B	A ou B	A	B	A	B	A ou B	A ou B	A ou B		A	B	A ou B	A ou B	A	B	A ou B	A ou B	A ou B	A ou B	A ou B
Rapport Eeff/liant éq maximal d)	0,6	0,6	0,55	0,5	0,55	0,5	0,5	0,45	0,45		0,55	0,5	0,5	0,45	0,55	0,5	0,45	0,5	0,45	0,5	0,4
Classe de résistance minimale e)	C25/30 e)	C25/30 e)	C30/37		C30/37		C35/45 f)	C35/45 f)	C35/45	C40/50	C30/37	C35/45 f)	C35/45	C30/37	C35/45	C30/37	C35/45 g)	C30/37	C35/45	C40/50	
Teneur mini en liant éq (kg/m3) d) h) i)	280	280	300		300 s)		330	330	350		330	330	350	330	350 j)	385 k)	385 k)	330	350	360	
Absorption d'eau maxi pour les produits préfabriqués en usine (%)	6,5 l)	6,5 l)	6,0 l)		6,0 l)		5,5 l)	5,0 l)	5,0 l)		6,0 l)		5,5 l)	5,0 l)	6,0 l)	5,0 l)			5,5 l)	5,0 l)	4,5 l)
Teneur minimale en air (%)	-	-	-		-		-	-	-		-	-		-	- j)	4,0 m)	4,0 m)	-	-	-	
Essai(s) de performances n)															XP P 18-420	NF P 18-424 (ou NF P 18-425)	NF P 18-424 (ou NF P 18-425)				
Nature du ciment du liant	-	-	-		-		-	PM o) et facteur de vieillissement ≥ 0,40 p)	PM o) et facteur de vieillissement ≥ 0,40 p)		-	-	q)	-	q)	-	q)	r)	r)	r)	

+ Tableaux 8C, 8D et 8E

Rappel :

Adaptation de la norme Béton à des ouvrages de génie civil pour une durée d'utilisation de 100 ans



Tableaux à appliquer pour les valeurs limites – DUP 100 ans

- Projet fascicule 65 -



Tableau 8B : Valeurs limites applicables selon le **fascicule 65** pour la composition et les propriétés du béton en fonction de la classe d'exposition (DUP 100 ans)

	Classes d'exposition																				
	Corrosion induite par carbonatation						Corrosion induite par les chlorures				Chlorures autres que l'eau de mer				Attaque gel / dégel				Environnements chimiquement agressifs		
	XC1	XC2	XC3		XC4		XS1	XS2	XS3e	XS3m	XD1	XD2	XD3	XF1		XF2	XF3 a)	XF4 a)	XA1	XA2	XA3 b)
Typologie de liant c)	A ou B	A ou B	A	B	A	B	A ou B	A ou B	A ou B		A	B	A ou B	A ou B	A	B	A ou B	A ou B	A ou B	A ou B	A ou B
Rapport Eff/liant éq maximal d)	0,6	0,6	0,55	0,5	0,55	0,5	0,5	0,45	0,45		0,55	0,5	0,5	0,45	0,55	0,5	0,45	0,5	0,45	0,5	0,4
Classe de résistance minimale e)	C25/30 e)	C25/30 e)	C30/37		C30/37		C35/45 f)	C35/45 f)	C35/45	C40/50	C30/37	C35/45 f)	C35/45	C30/37	C35/45	C30/37	C35/45 g)	C30/37	C35/45	C40/50	
Teneur mini en liant éq (kg/m3) d) h) i)	280	280	300		300 s)		330	330	350		330	330	350	330	350 j)	385 k)	385 k)	330	350	360	
Absorption d'eau maxi pour les produits préfabriqués en usine (%)	6,5 l)	6,5 l)	6,0 l)		6,0 l)		5,5 l)	5,0 l)	5,0 l)		6,0 l)		5,5 l)	5,0 l)	6,0 l)		5,0 l)		5,5 l)	5,0 l)	4,5 l)
Teneur minimale en air (%)	-	-	-		-		-	-	-		-	-		-	- j)	4,0 m)	4,0 m)	-	-	-	
Essai(s) de performances n)															XP P 18-420	NF P 18-424 (ou NF P 18-425)	NF P 18-424 (ou NF P 18-425)				
Nature du ciment du liant	-	-	-		-		-	PM o) et facteur de vieillissement $\geq 0,40$ p)	PM o) et facteur de vieillissement $\geq 0,40$ p)		-	-	q)	-	q)	-	q)	r)	r)	r)	

Rappel :

Adaptation de la norme Béton à des ouvrages de génie civil pour une durée d'utilisation de 100 ans

c) La répartition des ciments, mélanges de ciments et combinaisons ciment + addition en colonne A ou B est définie dans le tableau 8.E ci-après.



Répartition colonne A/B

	XC1	XC2	XC3		XC4	
Typologie de liant c)	A ou B	A ou B	A	B	A	B

c) La répartition des ciments, mélanges de ciments et combinaisons ciment + addition en colonne A ou B est définie dans le tableau 8.E ci-après.

Tableau 8E : Répartition des ciments, des mélanges de ciments, et des combinaisons ciment plus addition pour l'application du Tableau 8.B

	Colonne A		Colonne B	
Ciment	...	Types de ciment concernés	...	Types de ciment concernés
Mélange de deux ciments	...		...	
Combinaison Ciment + Addition $C+k*A$	...	Types de combinaisons concernées	...	Types de combinaisons concernées



Répartition colonne A/B pour le tableau 8B

➡ **Si $Leq = C$, 1 ciment**

Extrait tableau 8E	Colonne A	Colonne B
Ciment	CEM I Cf. Exemple ci-après CEM II/A CEM II/B CEM III/A (teneur en laitier inférieure ou égale à 50 %) CEM IV/A CEM V/A CEM II/C-M (à l'exclusion de ceux listés dans la colonne B) Ciment prompt Ciments à usage tropical (à l'exclusion des IV/B) Ciments VLH IV/A et V/A	CEM III/A (teneur en laitier supérieure à 50 %) Cf. Exemple ci-après CEM III/B CEM III/C CEM IV/B CEM V/B CEM II/C-M (ciments ternaires uniquement composés de constituants pouzzolaniques D, P, Q, V et W ou uniquement composés des mêmes constituants et de calcaire). CEM VI SSC (Ciments Sur-Sulfatés) Ciments à usage tropical CEM IV/B Ciments VLH à l'exception des VLH IV/A et V/A



Tableaux à appliquer pour les valeurs limites – DUP 100 ans

- Projet fascicule 65 -

 **Tableau 8B** : Valeurs limites applicables selon le **fascicule 65** pour la composition et les propriétés du béton en fonction de la classe d'exposition (DUP 100 ans)

	Classes d'exposition																					
	Corrosion induite par carbonatation						Corrosion induite par les chlorures				Chlorures autres que l'eau de mer				Attaque gel / dégel					Environnements chimiquement agressifs		
	XC1	XC2	XC3		XC4		XS1	XS2	XS3e	XS3m	XD1	XD2	XD3	XF1	XF2	XF3 a)	XF4 a)	XA1	XA2	XA3 b)		
Typologie de liant c)	A ou B	A ou B	A	B	A	B	A ou B	A ou B	A ou B		A	B	A ou B	A ou B	A	B	A ou B	A ou B	A ou B	A ou B		
Rapport Eeff/liant éq maximal d)	0,6	0,6	0,55	0,5	0,55	0,5	0,5	0,45	0,45		0,55	0,5	0,5	0,45	0,55	0,5	0,45	0,5	0,45	0,4		
Classe de résistance minimale e)	C25/30 e)	C25/30 e)	C30/37		C30/37		C35/45 f)	C35/45 f)	C35/45	C40/50	C30/37	C35/45 f)	C35/45	C30/37	C35/45	C30/37	C35/45 g)	C30/37	C35/45	C40/50		
Teneur mini en liant éq (kg/m3) d) h) i)	280	280	300		300 s)		330	330	350		330	330	350	330	350 j)	385 k)	385 k)	330	350	360		
Absorption d'eau maxi pour les produits préfabriqués en usine (%)	6,5 l)	6,5 l)	6,0 l)		6,0 l)		5,5 l)	5,0 l)	5,0 l)		6,0 l)		5,5 l)	5,0 l)	6,0 l)		5,0 l)		5,5 l)	5,0 l)	4,5 l)	
Teneur minimale en air (%)	-	-	-		-		-	-	-		-	-		-	- j)	4,0 m)	4,0 m)	-	-	-		
Essai(s) de performances n)			Cf. Exemple ci-après													XP P 18-420	NF P 18-424 (ou NF P 18-425)	NF P 18-424 (ou NF P 18-425)				
Nature du ciment du liant	-	-	-	-	-	-	PM o) et facteur de vieillissement $\geq 0,40$ p)	PM o) et facteur de vieillissement $\geq 0,40$ p)			-	-	q)	-	q)	-	q)	r)	r)	r)		

Rappel :

Adaptation de la norme Béton à des ouvrages de génie civil pour une durée d'utilisation de 100 ans



Exemple 1 : Leq = C, 1 ciment seul, XC4/XF1 - DUP 100 ans

- Cas d'un CEM II/A-LL seul,
→ ciment se trouvant dans la **colonne A** du tableau 8E

Béton coulé sur chantier ou en usine de préfabrication :

$$L_{eq} = 310 \text{ kg/m}^3 \geq 300 \text{ kg/m}^3$$

$$E_{eff} / L_{eq} = 0,53 \leq 0,55$$

Classe mécanique $\geq$ C30/37

Alternative pour béton fabriqué en usine de préfabrication :

$$\text{Absorption du béton} = 5,8 \% \leq 6,0 \%$$

$$E_{eff} / L_{eq} = 0,48 \leq 0,50 (= 0,55 - 0,05)$$

Classe mécanique $\geq$ C30/37

- Cas d'un CEM III/B seul,
→ ciment se trouvant dans la **colonne B** du tableau 8E

Béton coulé sur chantier ou en usine de préfabrication :

$$L_{eq} = 310 \text{ kg/m}^3 \geq 300 \text{ kg/m}^3$$

$$E_{eff} / L_{eq} = 0,49 \leq 0,50$$

Classe mécanique $\geq$ C30/37

Alternative pour béton fabriqué en usine de préfabrication :

$$\text{Absorption du béton} = 5,4 \leq 6,0 \%$$

$$E_{eff} / L_{eq} = 0,42 \leq 0,45 (= 0,50 - 0,05)$$

Classe mécanique $\geq$ C30/37





Tableaux à appliquer pour les valeurs limites

➡ Si $L_{eq} = C_1 + C_2$, 2 ciments

Extrait tableau 8E	Colonne A	Colonne B
Mélange de deux ciments	Autres mélanges de ciments que ceux listés en colonne B	(CEM I ou CEM II/A ou CEM II/B) + CEM III pour lesquels la teneur en clinker rapportée à la masse totale de liant est inférieure à 50 % (CEM I ou CEM II/A ou CEM II/B) + CEM IV/B pour lesquels la teneur en clinker rapportée à la masse totale de liant est inférieure à 65 % (CEM I ou CEM II/A ou CEM II/B) + CEM V/B pour lesquels la teneur en clinker rapportée à la masse totale de liant est inférieure à 40 % (CEM I ou CEM II/A ou CEM II/B) + CEM II/C-M (uniquement constitués de constituants pouzzolaniques D, P, Q, V, W ou uniquement composés des mêmes constituants et de calcaire) pour lesquels la teneur en clinker rapportée à la masse totale de liant est inférieure à 65 % (CEM I ou CEM II/A ou CEM II/B) + CEM VI (S-P) ou (S-V) pour lesquels la teneur en clinker rapportée à la masse totale de liant est inférieure à 40 % (CEM I ou CEM II/A ou CEM II/B) + CEM VI (S-L) ou (S-LL) pour lesquels la teneur en clinker rapportée à la masse totale de liant est inférieure à 50 %

NB : Ciments du même fournisseur ; Marque NF-LH ; la composition résultante correspond à un ciment NF EN 197-1 ou NF EN 197-5



Tableaux à appliquer pour les valeurs limites

☞ Si $L_{eq} = C + k \cdot A$, 1 ciment et 1 addition

Extrait tableau 8E	Colonne A	Colonne B
Combinaison Ciment + addition ($L_{eq} = C + k \cdot A$)	Autres combinaisons que celles listées en colonne B	CEM I + laitier moulu de classe A avec $A/(A+C) > 0,40$ CEM I + métakaolin de type A avec $A/(A+C) \geq 0,15$ CEM II/A + addition calcaire de catégorie A avec $A/(A+C) \geq 0,20$ CEM II/A + laitier moulu de classe A avec $A/(A+C) \geq 0,30$ CEM II/A + métakaolin de type A avec $A/(A+C) \geq 0,15$ CEM II/B + addition calcaire de catégorie A avec $A/(A+C) \geq 0,10$ CEM II/B + laitier moulu de classe A avec $A/(A+C) \geq 0,20$ CEM II/B + métakaolin de type A avec $A/(A+C) \geq 0,10$ CEM III/A + addition



Tableaux à appliquer pour les valeurs limites

➡ Si $Leq = C + k \cdot A$, 1 ciment et 1 addition

Tableau 8C : limites du taux de substitution selon la classe d'exposition, en fonction de la nature du ciment et de l'addition

<i>En vert : les nouveautés du Fascicule 65 v2025 versus Fascicule 65 2017.</i>			Classes d'exposition				
			XC	XS	XD	XF	XA
A/(A+C) maxi	CEM I	Type d'addition	A/(A+C) maxi augmentés				
	CEM II/A	Type d'addition					
	CEM II/B	Type d'addition	Nouvelles combinaisons possibles avec CEM II/B ou CEM III/A				
	CEM III/A	Type d'addition					

NB : Annotations du tableau à appliquer (exigences supplémentaires selon le cas).



Exemple : Evolution pour Leq en XC4/XF1

➡ Béton armé, classes d'exposition XC4/XF1, DUP 100 ans

Leq = C + k * A, avec CEM II/A + Addition calcaire Cat. A (k = 0,25)

Applicable :

- au béton coulé en place
- au béton préfabriqué en usine

Fascicule 65, Version 2017 :

$$Leq_{min} = C + k * A = 330 \text{ kg/m}^3$$

$$A/(A+C)_{max} = 0,10$$

Fascicule 65, Version 2026 :

$$Leq_{min} = C + k * A = \mathbf{300 \text{ kg/m}^3}$$

$$A/(A+C)_{max} = \mathbf{0,20}$$

Tableaux 8B, 8C, 8D et 8E

NEW

Exemple de calcul aux limites mini et maxi :

$$\text{Soit } A = [0,10/(1-0,10)] * C$$

$$Leq_{min} = C + 0,25 * A = 330 \text{ kg}$$

$$\rightarrow \mathbf{C = 321 \text{ kg /m}^3}$$

$$\rightarrow \mathbf{A = 36 \text{ kg /m}^3}$$

$$\text{Soit } A = [0,20/(1-0,20)] * C$$

$$Leq_{min} = C + 0,25 * A = 300 \text{ kg}$$

$$\rightarrow \mathbf{C = 282 \text{ kg /m}^3}$$

$$\rightarrow \mathbf{A = 71 \text{ kg /m}^3}$$

→ Un levier de formulation pour réduire l'impact carbone



Exemple : Evolution pour alternative en XC4/XF1

➡ Alternative spécifique au **béton armé préfabriqué**, classes d'exposition XC4/XF1, DUP 100 ans

Teneur en L_{eq} min. remplacée par un critère lié à l'absorption d'eau du béton
→ nécessite le respect des exigences de E_{eff}/L_{eq} max. et classe de résistance min.

Pour un mélange de CEM II/A-LL + Métakaolin de type A :

Fascicule 65, Version 2017 :

$$A/(A+C)_{max} = 0,10$$

$$Abs\ eau\ du\ béton \leq 6\ \%$$

$$E_{eff}/L_{eq} \leq 0,45$$

$$Classe\ mécanique \geq C30/37$$

Fascicule 65, Version 2026 :

$$A/(A+C)_{max} = \mathbf{0,15\ (col.\ A)}\ ou\ \mathbf{0,25\ (col.\ B)}$$

$$Abs\ eau\ du\ béton \leq 6\ \%$$

$$E_{eff}/L_{eq} \leq \mathbf{0,50\ (col.\ A)}\ ou\ \mathbf{0,45\ (col.\ B)}$$

$$Classe\ mécanique \geq C30/37$$

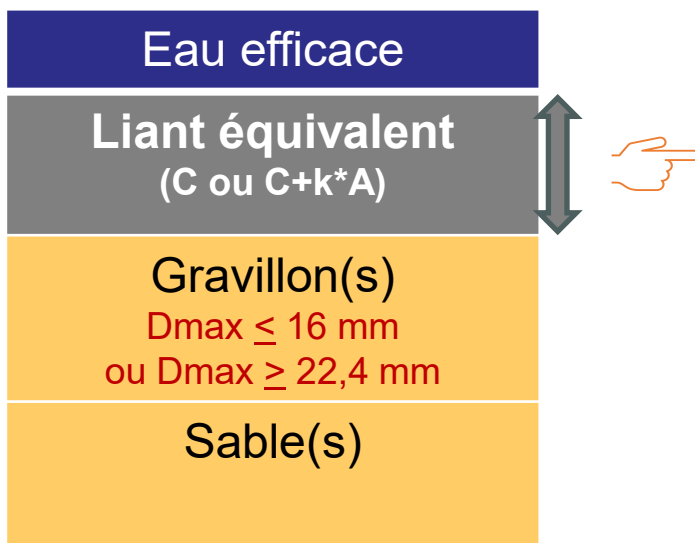
NEW

NB : l'application du critère lié à l'absorption d'eau entraîne une réduction du rapport E_{eff}/L_{eq} max. de 0,05.



Modulation des valeurs de L_{eq} mini en fonction du D_{max}

- Les teneurs minimales en liant équivalent (L_{eq}) des tableaux 8.B sont spécifiées par classe d'exposition pour un béton avec **$D_{max} = 20$ mm**.
- Pour d'autres valeurs de D_{max} , elles sont augmentées ou réduites :



Augmentation ou diminution de L_{eq}
si D_{max} différent de 20 mm :

$D_{max} \leq 12,5$ mm : L_{eq} mini augmenté de +10 %

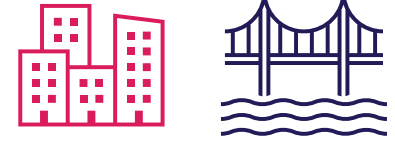
$D_{max} = 14$ mm : L_{eq} mini augmenté de +7,5 %

$D_{max} = 16$ mm : L_{eq} mini augmenté de +5 %

$D_{max} = 22,4$ mm : L_{eq} mini diminué de -2,5 %

$D_{max} = 31,5$ mm : L_{eq} mini diminué de -10 %

Inchangé



2025 : Alternative à l'augmentation de L_{eq} pour $D_{max} \leq 16$ mm

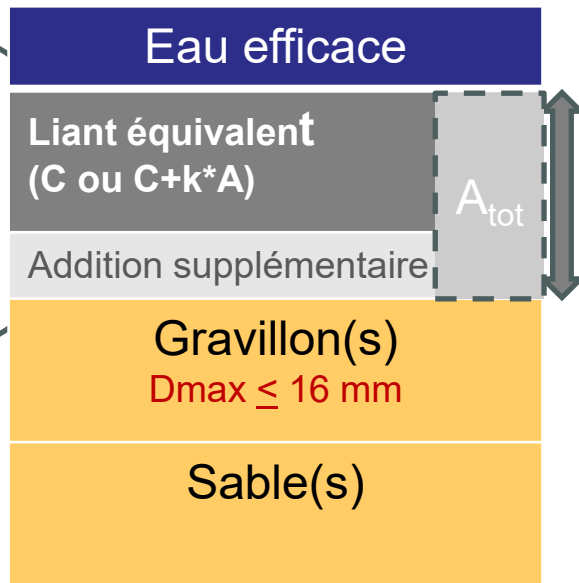


A : Addition comptabilisée dans L_{eq}

$A_{supplémentaire}$: Addition non comptabilisée dans le L_{eq} , utilisée en complément

A_{tot} : quantité totale d'addition par mètre cube de béton (kg/m^3) = $A + A_{supp}$

Notion de
volume de pâte
et quantité de
fines



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

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

$D_{max} = 14$ mm :

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

$D_{max} = 16$ mm :

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

NB : Exigences supplémentaires spécifiques au béton précontraint.

IMPORTANT : Les valeurs limites pour E_{eff} / L_{eq} et $A/(A+C)$ des tableaux 8B et 8C doivent également être respectées.



Modulation des valeurs de L_{eq} mini en fonction du D_{max}

Exemple pour un béton armé XC4 avec $D_{max} = 12,5 \text{ mm}$:

$L_{eq} = \text{CEM II/A-LL} + k * \text{Addition calcaire Cat. A, avec } A/(A+C) = 0,20 ; k = 0,25$

- Pour $D_{max} = 20 \text{ mm} \rightarrow L_{eq} = 300 \text{ kg/m}^3$
- Pour $D_{max} = 12,5 \text{ mm}$

2 possibilités

Augmentation de L_{eq} :

$$L_{eq} = 1,10 * 300 = 330 \text{ kg/m}^3$$

$$L_{eq} = C + k * A$$

$$L_{eq} = 311 + 0,25 * 78 = 330 \text{ kg/m}^3$$

Alternative 2026, augmentation de A_{tot} :

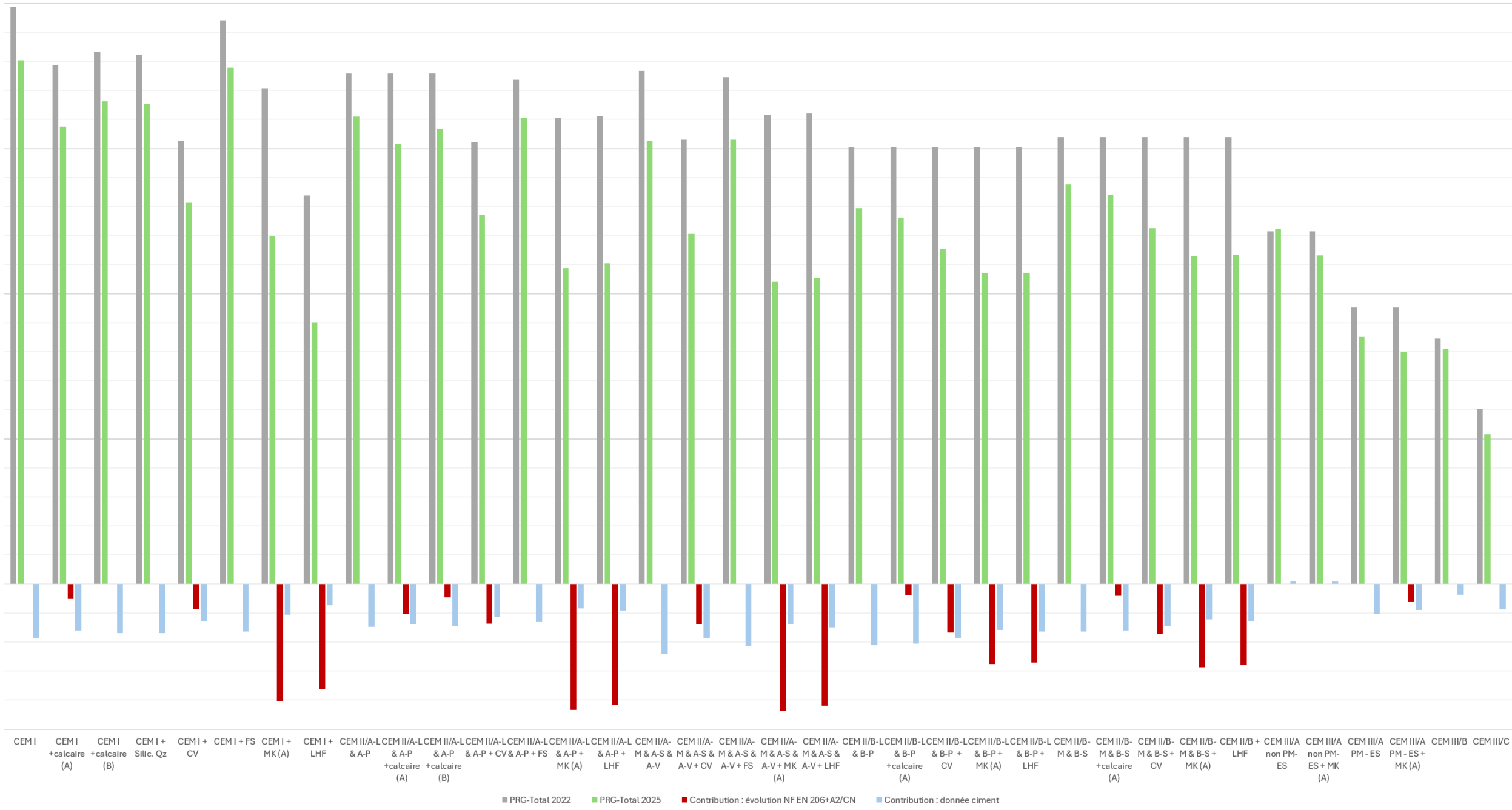
$$L_{eq} = 300 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Et } (C + A_{tot}) = 1,24 * 300 = 372 \text{ kg/m}^3$$

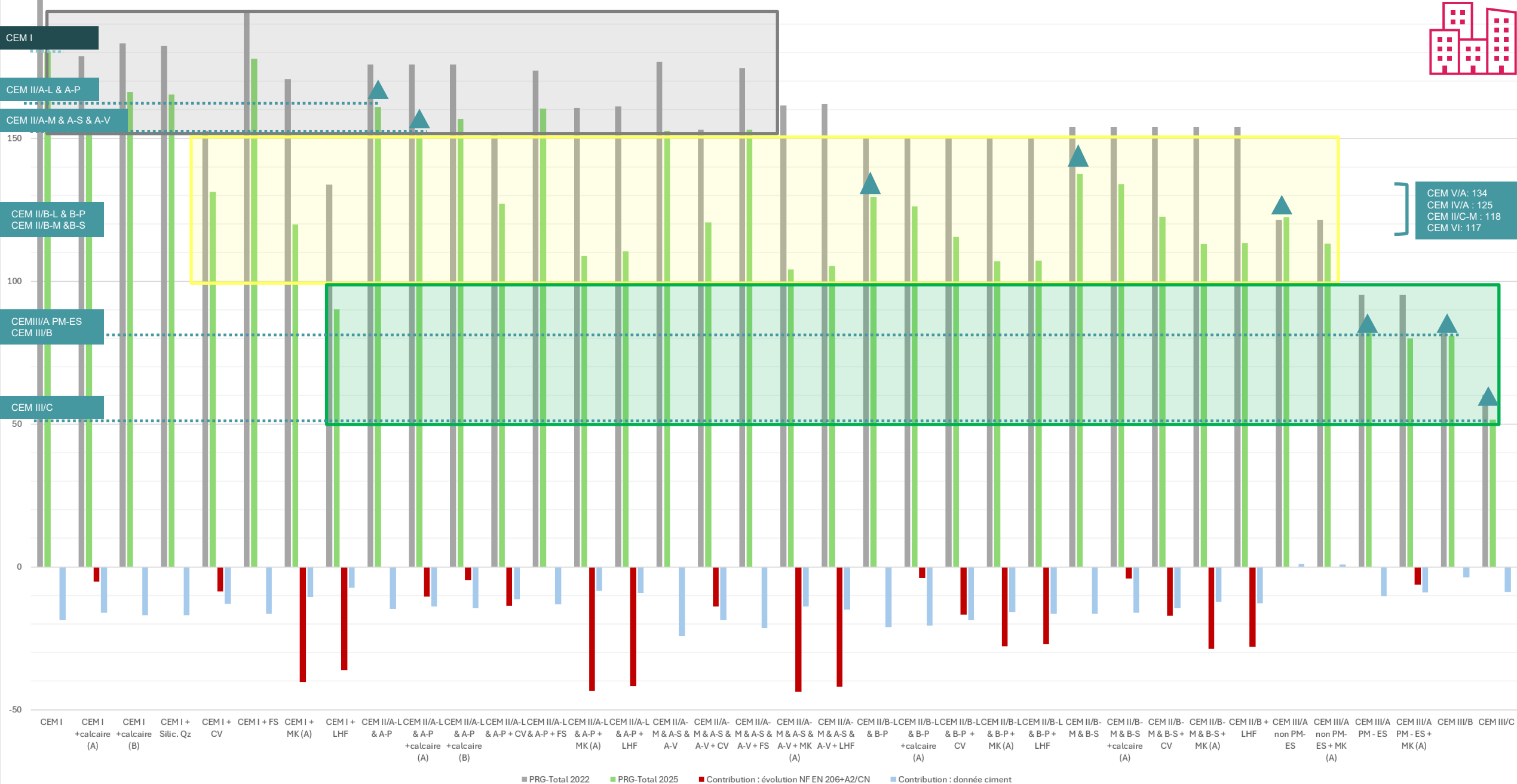
$$L_{eq} = C + k * A = 282 + 0,25 * 71 = 300 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Et } A_{tot} = 71 + 19 = 90 \text{ kg/m}^3$$

→ 19 kg/m³ d'addition calcaire supplémentaire non comptabilisée dans le liant équivalent.



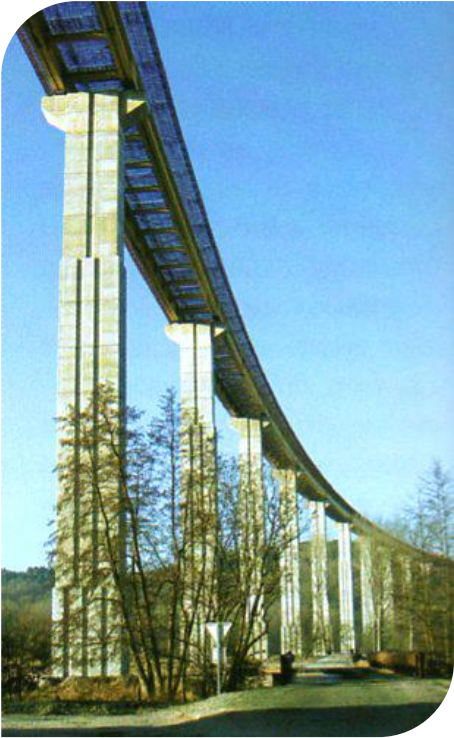
Exemple: Classe XC1 NA.F.1 (respect des valeurs limites), évaluation PRG-Total **LIANT** 2022 Vs 2025 (hors granulats et fabrication), transports moyens



SPECIFICATION DES BETONS POUR OUVRAGES PROVISOIRES

NEW





Nouveauté de la NF EN 206/CN+A2 : Introduction de l'annexe NA.N (Normative)

Composition du béton pour ouvrages provisoires à durée de chantier



Fascicule 65 article 8.1.1.3 (pr2026)

Pour les ouvrages provisoires, les prescriptions à appliquer sont celles prévues par la norme NF EN 206/CN:2025 pour une durée d'utilisation de projet de 50 ans (tableaux NA.F.1 à NA.F.4), **sauf proposition différente de l'Entreprise approuvée par le Maître d'Œuvre ou sauf disposition différente prévue au Marché. L'éventuelle relaxation des prescriptions ne devra cependant pas aller au-delà des dispositions prévues par l'annexe NA.N de cette norme.**

Lors de la rédaction du CCTP et de la partie décomposition en type d'ouvrage, il est possible de prendre en compte cette annexe pour accompagner la spécification des bétons d'ouvrages provisoires dans leurs classes d'exposition

Objectifs de l'annexe NA.N

Prise en compte du caractère provisoire de certains ouvrages

- Précision du texte de la norme offrant la possibilité de moduler l'approche prescriptive du béton pour des durées inférieures à 50 ans
- Modulation des effets de classe d'exposition (retour d'expérience projet national PERFDUB)
- Spécification liée à la performance mécanique et à la mise en oeuvre

Répondre aux enjeux de décarbonation et environnementaux

- ❖ *L'approche prescriptive de l'annexe NA.F peut amener à la sur prescription de certains ouvrages provisoires à durée de chantier (classe de résistance supérieure au requis par le dimensionnement entraînant un surdosage en liant équivalent)*
- ❖ *L'application de l'annexe NA.N ouvre une solution à des classes de réduction de l'empreinte carbone plus conséquente*
- ❖ *L'application de l'annexe NA.N ouvre à plus de flexibilité sur l'emploi de granulats recyclés*



Palée provisoire

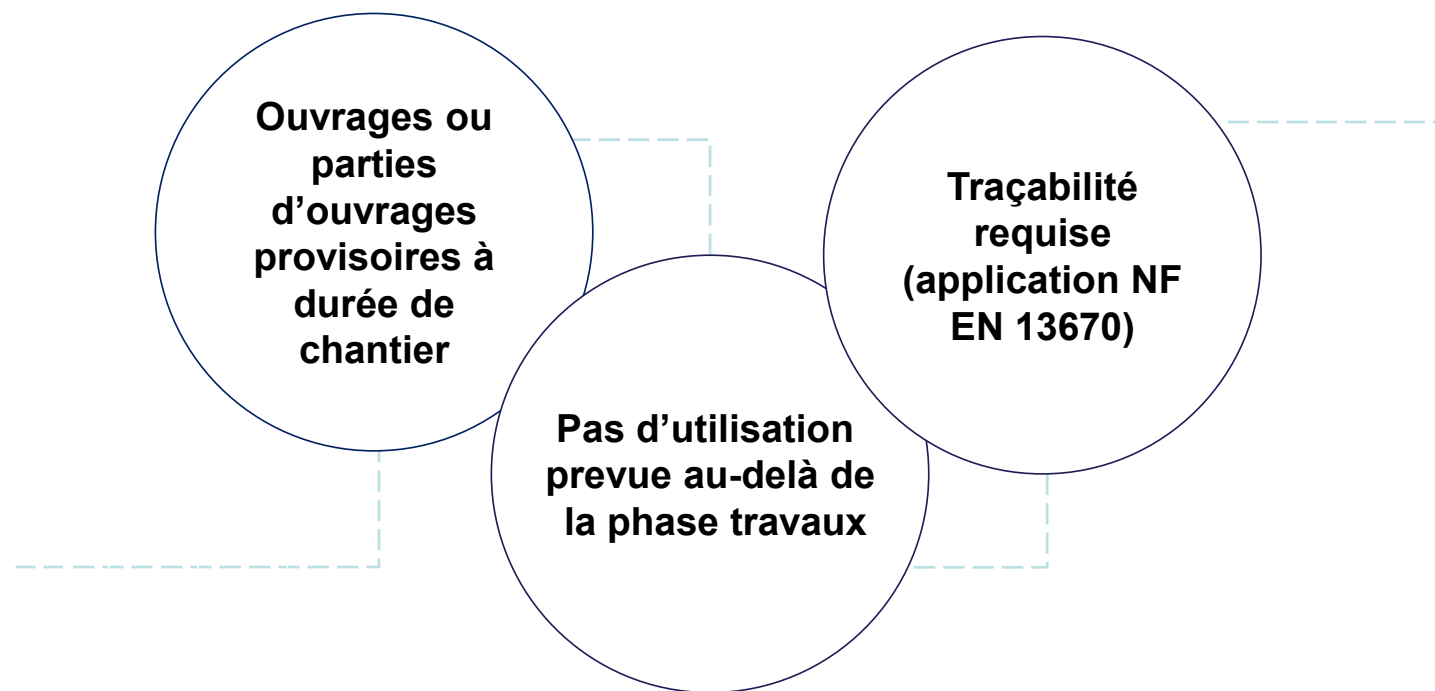


Granulats recyclés



Prérequis

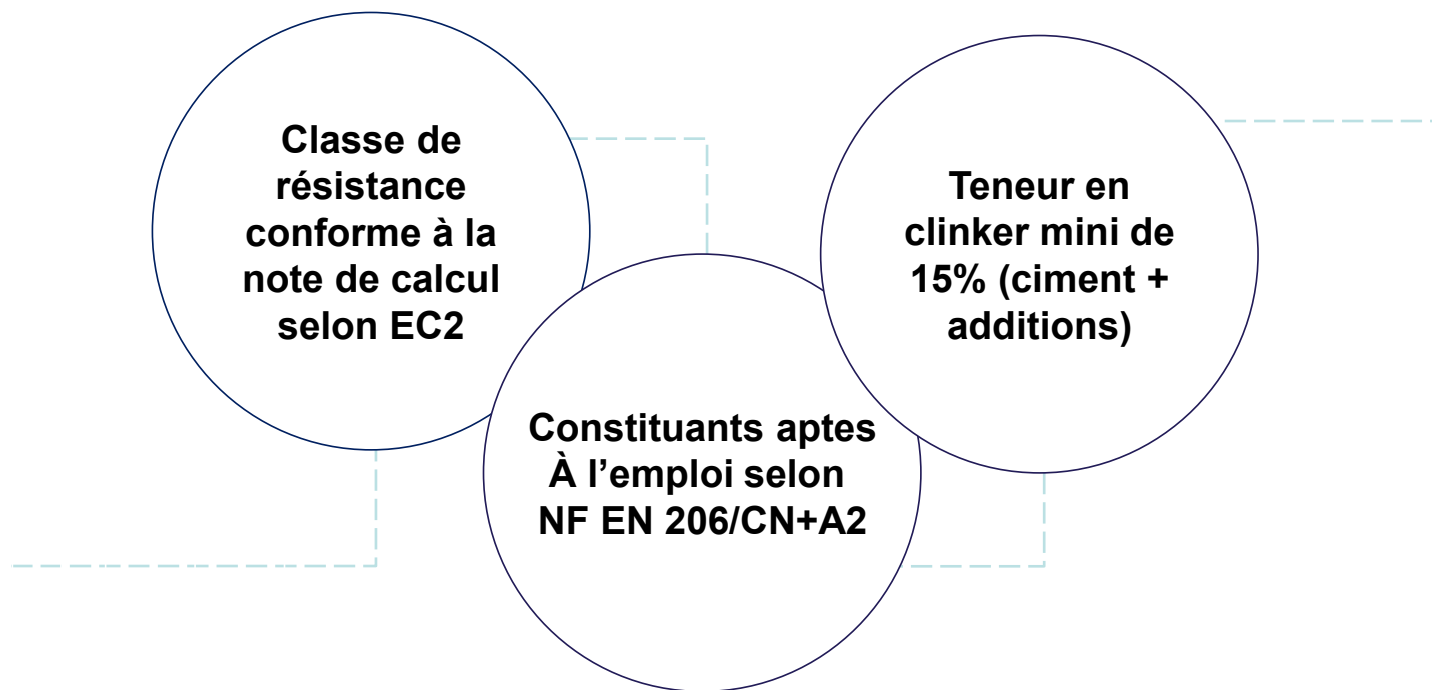
La bonne application de l'annexe NA.N passe par la prise en compte des points suivants



Prérequis (composition)



La bonne application de l'annexe NA.N passe par la prise en compte des points suivants



Le principe est de remplacer les exigences de l'annexe NA.F par une spécification de classe de résistance liée au dimensionnement

En incluant des particularités à respecter suivant les classes d'expositions

CLASSES D'EXPOSITION

L'annexe NA.N s'applique aux classes d'expositions suivantes

- | | |
|---|--|
| X0 Béton non armé ne subissant aucune agression | XC Béton soumis à la carbonatation |
| XF Uniquement XF1 Béton exposé, soumis à des cycles gel/dégel | XS Corrosion induite par les chlorures présents dans l'eau de mer |
| XA Béton soumis à des attaques chimiques | XD Corrosion induite par des chlorures ayant une origine autre que marine |



Exclusion des classes XF2, XF3 et XF4

Les règles de prescriptions applicables sont données dans le tableau NA.N.1

	X0	XC0	XC1	XC2	XC3	XC4	XS1	XS2	XS3	XD1	XD2	XD3	XF1	XA1	XA2	XA3
Classe de résistance minimale	a)															
Nature du ciment	-	-	-	-	-	-	-	PM	PM	-	-	PM	-	-	-	-
Nature du liant	-	-	-	-	-	-	-	d)	d)	-	-	d)	-	b)	b)	b)
Autres exigences	-	-	-	-	-	-	c)	c)	c)	c)	c)	c)	-	-	-	-

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

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

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

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

Les particularités

a)

Classe de résistance minimale (calcul EC2)

b)

Liant conforme au FD P18-011 pour les classes XA

c)

Imposition d'un C20/25 mini pour XS et XD si liant CEM I ou CEM II/A-LL

Liant PM pour les classes XS2, XS3 et XD3

Dérogation sur taux max de gravillons et sables recyclés sauf pour XA

La formulation doit garantir une ouvrabilité suffisante et une absence de ségrégation

Exemple 1: mur de soutènement provisoire

Mur de soutènement provisoire sur un ancien site industriel (classe d'exposition XA3) – F_{ck} note calcul = 30 MPa

Béton Mur de soutènement Classe d'exposition XA3	BPS C40/50 XA3 S4 Annexe NA.F	PROV C30/37 XA3 S4
Classe de résistance mécanique	C40/50	C30/37
Classe exposition	XA3/XC2	XA3/XC2
Liant conforme FD P18-011 Ex. CEM III/A 52,5 PM ES	360 kg / m ³	300 kg / m ³
Addition conforme NF EN 206/CN+A2 (ex. filler calcaire, laitier, cendres volantes...)		30 kg / m ³
Eau efficace	160 kg/m ³	160 kg/m ³
Liant équivalent	360 kg /m ³	300 kg /m ³
Rapport eau efficace sur liant total	0,44	0,53

PAUSE



Question 1 : Pour un béton d'ingénierie de type 2, lequel des critères suivants est obligatoire lors de l'étude préliminaire ?

- A.** Vérification de la condition 1 : $f_{CE} \geq f_{ck} + 2 \cdot S$, basée sur des essais de résistance issus de gâchées expérimentales.
- B.** Validation automatique dès lors que la centrale possède la marque NF-BPE, sans essais.
- C.** Un contrôle de convenance systématique sur chantier avant toute fabrication.



Question 1 : Pour un béton d'ingénierie de type 2, lequel des critères suivants est obligatoire lors de l'étude préliminaire ?

- A. Vérification de la condition 1 : $f_{CE} \geq f_{ck} + 2 \cdot S$, basée sur des essais de résistance issus de gâchées expérimentales.**
- B. Validation automatique dès lors que la centrale possède la marque NF-BPE, sans essais.**
- C. Un contrôle de convenance systématique sur chantier avant toute fabrication.**



Question 2 : Qu'impose la méthode prescriptive concernant les mélanges de deux ciments (C1 + C2) ?

- A.** Les deux ciments doivent appartenir à la même classe mécanique, quelle que soit leur origine.
- B.** Les deux ciments doivent provenir du même fournisseur, être marqués NF-LH, et la composition finale doit correspondre à un ciment conforme NF EN 197-1 ou -5.
- C.** Il est interdit de mélanger deux ciments en méthode prescriptive.



Question 2 : Qu'impose la méthode prescriptive concernant les mélanges de deux ciments (C1 + C2) ?

- A. Les deux ciments doivent appartenir à la même classe mécanique, quelle que soit leur origine.**
- B. Les deux ciments doivent provenir du même fournisseur, être marqués NF-LH, et la composition finale doit correspondre à un ciment conforme NF EN 197-1 ou -5.**
- C. Il est interdit de mélanger deux ciments en méthode prescriptive.**



Question 2: Quel est l'effet d'un $D_{\max} = 12,5$ mm sur la valeur minimale de $(C+A_{\text{tot}})$ pour un béton prescriptif ?

- A. $L_{\text{eq mini}}$ est diminué car les petites granulométries demandent moins de pâte.
- B. $(C+A_{\text{tot}})$ est augmenté car un $D_{\max}$ réduit impose plus de pâte.
- C. $L_{\text{eq mini}}$ est inchangé, seuls les rapports $E_{\text{eff}}/L_{\text{eq}}$ sont affectés.



Question 2: Quel est l'effet d'un $D_{\max} = 12,5$ mm sur la valeur minimale de $(C+A_{\text{tot}})$ pour un béton prescriptif ?

- A. $L_{\text{eq mini}}$ est diminué, car les petites granulométries demandent moins de pâte.**
- B. $(C+A_{\text{tot}})$ est augmenté de +24 %, car un $D_{\max}$ réduit impose plus de pâte.**
- C. $L_{\text{eq mini}}$ est inchangé, seuls les rapports $E_{\text{eff}}/L_{\text{eq}}$ sont affectés.**

APPROCHES PERFORMANTIELLES DES BETONS



@Carine Lachaud, Cerib

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

Pour une partie d'ouvrage donnée,



Classe(s) d'exposition

+

**Durée utile du projet
(DUP)**



Formule de béton conforme :

- à la norme NF EN 206+A2/CN (DUP 50 ans)
- au Fascicule 65 (si DUP 100 ans)



Méthode prescriptive

Méthode performantielle

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

- Méthode performantielle : alternative autorisée par la norme NF EN 206+A2/CN via deux approches:
 - L'approche à composition unique (*déjà introduite dans la norme béton de 2022*)
 - L'approche par domaine de composition (*nouveauté de la norme béton de 2025*)
- Démarche transparente qui doit être acceptée par toutes les parties
- Approche à composition unique : proposée par l'Entreprise pour **tout ou partie des bétons de l'ouvrage et pour tout ou partie des classes d'exposition** ou imposée au CCTP
- Approche par domaine de composition : proposée par l'Entreprise pour **tout ou partie des bétons de l'ouvrage et pour tout ou partie des classes d'exposition**

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

- NF EN 206+A2/CN 2025 : application des approches performantielles autorisées par application du fascicule FD P18-480 (v2025).
- Rôle du Maître d'Œuvre pour l'approche à composition unique :
 - Si prévu au CCTP, définition du niveau d'application de la méthode
 - Si proposé par l'Entreprise, vérification du niveau d'application proposé
 - Dans tous les cas, mise en place d'un contrôle extérieur approprié
- Rôle du Maître d'Œuvre pour l'approche par domaine de composition :
 - Vérification de la catégorie d'ouvrage proposée
 - Validation du dossier d'étude générique
 - Mise en place d'un contrôle extérieur approprié.

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.

Approches performantielles

- **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.
- Exigences Système Qualité des acteurs, qualification du laboratoire d'essais

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

ABOUTISSEMENT DU PROJET NATIONAL PERFDUB



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



OUVRAGE SCIENTIFIQUE : <https://perfdub.fr/publications/ouvrage-scientifique/>

APPROCHE A COMPOSITION UNIQUE

FD P 18-480: 2025 : CHAPITRE 4

NIVEAUX D'APPLICATION

APPROCHE PERFORMANTIELLE A COMPOSITION UNIQUE

- 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, ...).

NIVEAUX D'APPLICATION

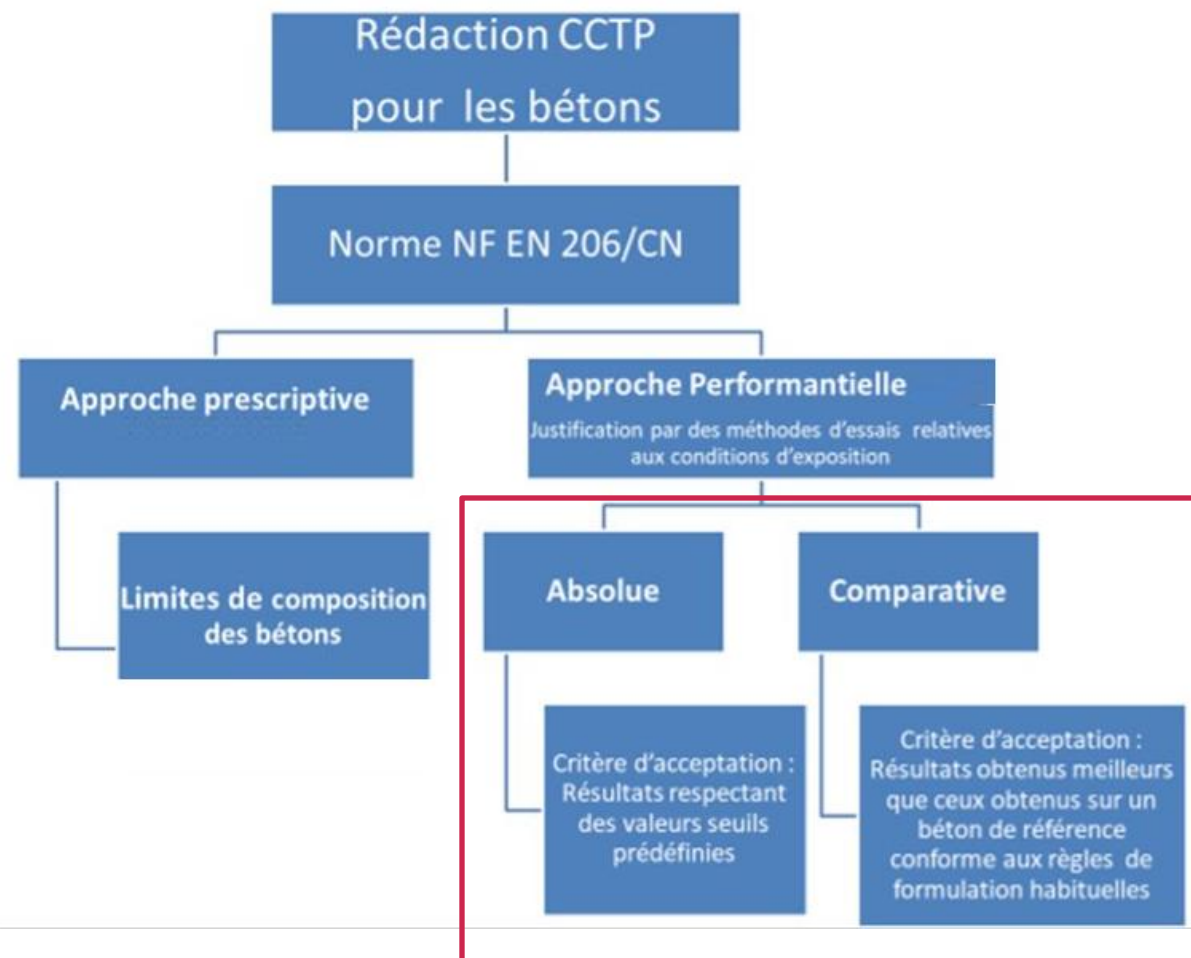
APPROCHE PERFORMANTIELLE A COMPOSITION UNIQUE

- Choix du 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

PRESCRIPTION

APPROCHE PERFORMANTIELLE A COMPOSITION UNIQUE



LES MÉTHODES D'ESSAIS

Méthodes d'essais de durabilité 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

LES MÉTHODES D'ESSAIS

Méthodes d'essais de durabilité créées :

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

CRITÈRES POUR LES CLASSES XC

Alternative:

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 (Ω.m)	Vitesse caractéristique de carbonatation accélérée selon XP P 18-458 $V_{acc,k90j}$ (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

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%

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 %.			

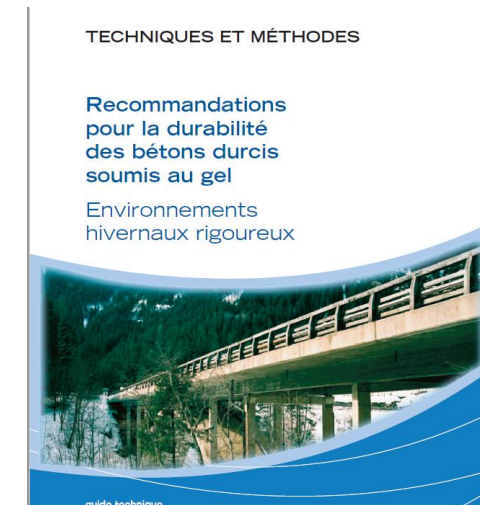
CRITÈRES POUR LES CLASSES XD

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 %.

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 Eau_{efficace}/Liant_{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: $D_{rcm,90j}$)

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 $D_{rcm,90j}$.

CRITÈRES POUR LES CLASSES XA

RESISTANCE AUX ATTAQUES PAR HYDROGENE SULFURE (H₂S)

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

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

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

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

PRINCIPES GÉNÉRAUX DE L'APPROCHE PERFORMANTIELLE A COMPOSITION UNIQUE

Béton du projet :

- Choix de l'Approche Performantielle **accepté par toutes les parties concernées.**
- Démarche **transparente pour toutes les parties prenantes.**
- Exigences en termes de Système Qualité du Producteur de béton, du Fabricant de produits en béton et de l'Entreprise de construction
- Essais effectués par un **laboratoire agréé** avec des références probantes.
- Justification par **dossier technique** détaillant la composition du béton, les performances obtenues et leur interprétation
- Epreuve de convenance
- Contrôle de production (hors niveau de prévention N1).

PRINCIPES GÉNÉRAUX DE L'APPROCHE PERFORMANTIELLE A COMPOSITION UNIQUE

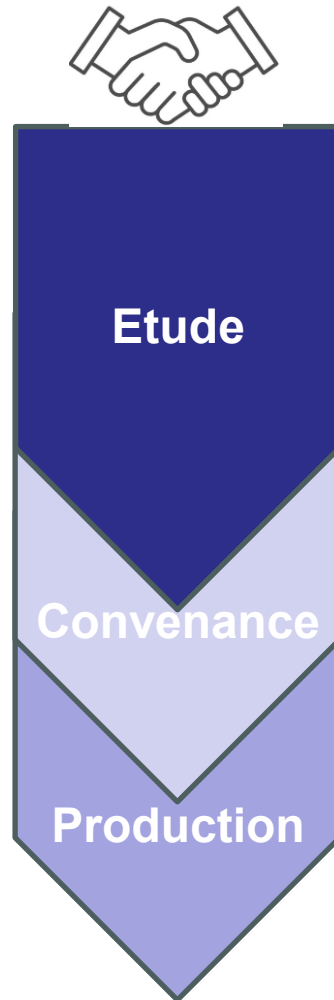
L'appellation normalisée du béton :

- **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).**





Etude béton (préqualification) : Formule nominale + dérivées

(dérivées en eau obligatoires)

- Caractéristiques béton frais
- Résistance mécanique à 28 jours
- Rapport f_{c2j} / f_{c28j}
- Grandeur(s) de durabilité à 90 jours
- Indicateurs généraux à 28 jours



Convenance : Formule nominale

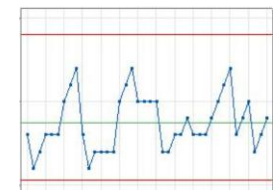
- Caractéristiques béton frais
- Résistance mécanique à 28 jours
- Indicateurs généraux à 28 jours et (pour DUP 100 ans) grandeurs de durabilité à 90 j

--> Etude + Convenance validées : Qualification



Contrôle de production :

- Caractéristiques béton frais
- Résistance mécanique à 28 jours
- Indicateurs généraux à 28 jours
(sauf en Niveau de prévention N1 en production).
- Grandeurs de durabilité (fréquence selon niveau d'application)



EXEMPLES AVEC FICHES DE SYNTHÈSE

	Centrale Préfa	Centrale BPE
	Béton C30/37 pour plafond de cadre sous chaussée XC4 et XF2, assimilable à XD3f (peu exposé aux sels de déverglaçage) ; Formule dérogeant sur la teneur minimale en liant équivalent du Tableau 8B du Fascicule 65	BETON B1 / Exemple Fil rouge Béton C35/45 pour fondations profondes ; XC2 et XA2 (sols sulfates) Formule dérogeant sur la teneur minimale en liant équivalent du Tableau 8B Fasc 65 pour XA2
Appellation normalisée	BPPS C30/37 XC4 XD3fp D20 S4 Cl0,4	BPPS C35/45 XC2 XA2p D20 S4 Cl0,4
Niveau d'application	N3	N3
Classe(s) d'exposition	XC4 XD3f(p)	XC2, XA2p (sols avec sulfates)
DUP	100 ans	100 ans
Indicateurs de durabilité généraux retenus	%Ab (béton) Résistivité	Porosité à l'eau Résistivité
Grandeur associée à la durabilité retenue	Méthode de base : Coefficient de diffusion de chlorure D_{rcm}	Méthode de base : Gonflement du béton Delta L / L_M Méthode alternative si béton particulier : Coefficient de diffusion de chlorure D_{rcm} comparé à un béton de référence
Laboratoire (*)	W	X

(*) 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 équ., Ok)

Classes d'exposition	GRANDEURS DE DURABILITE (à mesurer après 90 J de cure humide du béton)				INDICATEURS GENERAUX DE DURABILITE (après 28 j de cure humide)	
	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.	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)
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 étude.	21-28j		
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.	NB : Valeurs mesurées en étude servant de critère d'acceptation du béton en convenance et contrôle.
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 nature de 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		

(*) Un coefficient de sécurité est appliqué en étude : Valeurs moyennes < ou = Valeur limite – 1,5 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

Exemple 2
Méthode de base

Exemple 3,
Alternative

EXEMPLE 1 (PRÉFA) – C30/37 XC4 XD3fp 100 ANS

Fiche de synthèse

EXEMPLE 1	Centrale Préfa
	Béton C30/37 pour plafond de cadre sous chaussée XC4 et XF2, assimilable à XD3f (peu exposé aux sels de déverglaçage) ; Formule dérogeant sur la teneur minimale en liant équivalent du Tableau 8B du Fascicule 65
Appellation normalisée	BPPS C30/37 XC4 XD3fp D20 S4 Cl0,4
Niveau d'application	N3
Classe(s) d'exposition	XC4 XD3f(p)
DUP	100 ans
Indicateurs de durabilité généraux retenus	Absorption d'eau (% Ab_{28j}) Résistivité électrique (ρ_{28j})
Grandeur associée à la durabilité retenue	Coefficient de diffusion de chlorure D_{rcm}
Laboratoire	W

-> Grandeur de durabilité :
Coefficient de diffusion de chlorure D_{rcm}

Tableau 6 — Seuils de performance pour la classe XD1 à XD3 (à 50 et 100 ans) 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 P18-462 $D_{rcm,k,90j} (x 10^{-12} m^2 / s)$	
		DUP 50 ans	DUP 100 ans
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	22	22

En étude : Justification de la durabilité du béton

- $D_{rcm,90j}$ (nominale, moyenne sur 3 gâchées) $\leq$ Seuil – 1,5 * écart-type prévisionnel

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

En convenueance et production

- % Ab_{28j} , convenueance, (nominale, moyenne sur 3 gâchées) $\leq 1,1 * \% Ab_{28j}$, étude
- Résistivité ρ_{28j} , convenueance, (nominale, moyenne sur 3 gâchées) $\geq 0,8 * Résistivité_{28j}$, étude, (nominale)

+ Vérification grandeur de durabilité (coefficient de diffusion dans ce cas).

+ Vérification béton frais, fc_{28j}

Fréquence de contrôle en production : Indicateurs de durabilité (/500 m³ en période initiale puis /1000 m³) + Coefficient de diffusion (1/ trimestre)

DÉTAIL DE L'ÉTUDE POUR L'EXEMPLE 1

EXEMPLE 1 : BPPS C30/37 XC4 XD3(F)p D20 S4 Cl0,4

Béton C30/37 pour plafond de cadre sous chaussée.

XC4 et XF2, assimilable à XD3f (peu exposé aux sels de déverglaçage) ; Formule dérogeant sur la teneur minimale en liant équivalent du Tableau 8B du Fascicule 65 DUP : 100 ans Niveau d'application : N3.

Indicateurs généraux de durabilité : % Abs du béton et Résistivité

Grandeur de durabilité : Coefficient de diffusion de chlorures

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

(Gâchée 1) Temps	10 min	30 min	90 min	Ciment de l'étude : résistance mortier EN (MPa)	
Affaissement (mm)	180	180	170	C_E (mesuré) = 50	C_{min} (fournisseur) = 42,5

N° Gâchée	#1	#2	#3	Moyenne	Critère d'acceptation	Calculs
fc (28j)	38	40	41	39,7 MPa	$\geq f_{ck} + \lambda * (C_E - C_{min})$ $\geq f_{ck} + 2 * S$	$39,7 \geq 30 + 1 * (50 - 42,5) = 37,5 \text{ MPa}$ $39,7 \geq 30 + 2 * 3 = 36 \text{ MPa}$ Ok
D_{rcm, 90j}	10	9,5	9	9,5 .10⁻¹²m²/s	$\leq \text{Valeur seuil (tableau 6 selon facteur de vieillissement)}$ $- 1,5 * \text{écart-type prévisionnel de } D_{rcm, 90j}$	$9,5 \leq 16 - 1,5 * 2,5 = 13 \text{ m}^2 / \text{s}$ Ok <i>Vérif du Coeff de variation de v_{acc}:</i> $CV = \text{Ecart-type} / \text{Moyenne} = 2,5 / 9,5 = 26,3\% > 20\%$ (tableau 14) Ok
p_{28j}	120	150	130	133,3 Ohm.m --> 130 Ohm.m	Ces valeurs serviront pour acceptation du béton en convenance	
%Ab_{eau, 28j}	4,5	4,8	4,9	4,7%		

EXEMPLE 2 (BPE) – C35/45 XC2 XA2p, 100 ANS

Fiche de synthèse

	Centrale BPE
Exemple 2	Béton C35/45 pour fondations profondes ; XC2 et XA2 (sols sulfates) Formule dérogeant sur la teneur minimale en liant équivalent du Tableau 8B Fasc 65
Appellation normalisée	BPPS C35/45 XC2 XA2p D20 S4 CI0,4
Niveau d'application	N3
Classe(s) d'exposition	XC2 XA2p
DUP	100 ans
Indicateurs de durabilité généraux retenus	Porosité à l'eau (P_{eau}) Résistivité (ρ_{28j})
Grandeur associée à la durabilité retenue	Méthode de base : Gonflement du béton $\Delta L / L_M$
Laboratoire	X

-> Grandeur de durabilité :
Protocole RSE par saturation

Tableau 8 — Seuils applicables dans le cadre général de la méthode performantielle pour un milieu contenant des sulfates

	Protocole RSE par saturation (mode opératoire PerfDuB)	Protocole RSE par immersion séchage (mode opératoire PerfDuB)	Ciment du béton de référence (paragraphe 4.3.5.1)
Classe d'exposition (milieux contenant des sulfates)	$\Delta L / L_M$	$\Delta L / L_S$	
XA2	$\leq \Delta L / L_M$ du béton de référence	$\leq \Delta L / L_S$ du béton de référence	CEM I SR 3

En étude :

- $\Delta L / L_M, 90j$ (nominale) $\leq \Delta L / L_M, 90j$ (béton de référence)

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

En convenue et production

- Vérification du béton frais et fc_{28j}
- $\%P_{eau\ 28j}$, convenue (nominale) $\leq 1,1 * \%P_{eau\ 28j}$, étude (nominale)
- Résistivité $_{28j}$, convenue (nominale) $\geq 0,8 * Résistivité_{28j}$, étude (nominale)
- $\Delta L / L_M, 90j$ (nominale) $\leq \Delta L / L_M, 90j$ (béton de référence)

Fréquence de contrôle en production : Indicateurs de durabilité (/500 m³ en période initiale puis /1000 m³) + Gonflement (1/ an)

EXEMPLE 3 (BPE) – C35/45 XC2 XA2p, 100 ANS

Fiche de synthèse

	Centrale BPE
Exemple 2	Béton C35/45 pour fondations profondes ; XC2 et XA2 (sols sulfates) Formule dérogeant sur la teneur minimale en liant équivalent du Tableau 8B Fasc 65
Appellation normalisée	BPPS C35/45 XC2 XA2p D20 S4 CI0,4
Niveau d'application	N3
Classe(s) d'exposition	XC2 XA2p
DUP	100 ans
Indicateurs de durabilité généraux retenus	Porosité à l'eau (P_{eau}) Résistivité (ρ_{28j})
Grandeur associée à la durabilité retenue	Méthode de base : Migration des ions chlorure
Laboratoire	X

-> Grandeur de durabilité :
Migration des ions chlorure

Tableau 9 — Critères applicables pour un milieu contenant des sulfates pour une nature de liant total conforme au FD P 18-011

Classe d'exposition	$D_{rcm,90j}$ selon XP P 18-462	Ciment du béton de référence (paragraphe 4.3.5.1)
XA1	$\leq D_{rcm,90j}$ du béton de référence	CEM I PM
XA2	$\leq D_{rcm,90j}$ du béton de référence	CEM I SR3
XA3	$\leq D_{rcm,90j}$ du béton de référence	CEM I SR3

En étude :

- $D_{rcm,90j}$ (nominale) $\leq D_{rcm,90j}$ (béton de référence)

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

En convenueance et production

- Vérification du béton frais et fc_{28j}
- $\%P_{eau\ 28j, convenueance\ (nominale)} \leq 1,1 * \%P_{eau\ 28j, étude\ (nominale)}$
- Résistivité $_{28j, convenueance\ (nominale)} \geq 0,8 * Résistivité_{28j, étude\ (nominale)}$
- $D_{rcm,90j}$ (nominale) $\leq D_{rcm,90j}$ (béton de référence de l'étude)

Fréquence de contrôle en production : Indicateurs de durabilité (/500 m³ en période initiale puis /1000 m³) + D_{rcm} vs béton de référence (1/ an)

EXEMPLE DE RÉDACTION DU CCTP POUR L'APPROCHE PERFORMANTIELLE A COMPOSITION UNIQUE

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 à composition unique**, 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.

Cf. Note Cerema « Bétons verts »

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 à composition unique

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



APPROCHE PAR DOMAINE DE COMPOSITION

FD P 18-480: 2025 : CHAPITRE 5

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

PRINCIPES GÉNÉRAUX DE L'APPROCHE PERFORMANTIELLE PAR DOMAINE DE COMPOSITION

- Choix de l'Approche Performantielle **accepté par toutes les parties concernées.**
Démarche transparente pour toutes les parties prenantes.
- Essais Durabilité effectués par un **laboratoire agréé** avec des références probantes.
- Exigences en termes de Système Qualité du Producteur de béton, du Fabricant de produits en béton et de l'Entreprise de construction.

Etude Générique :

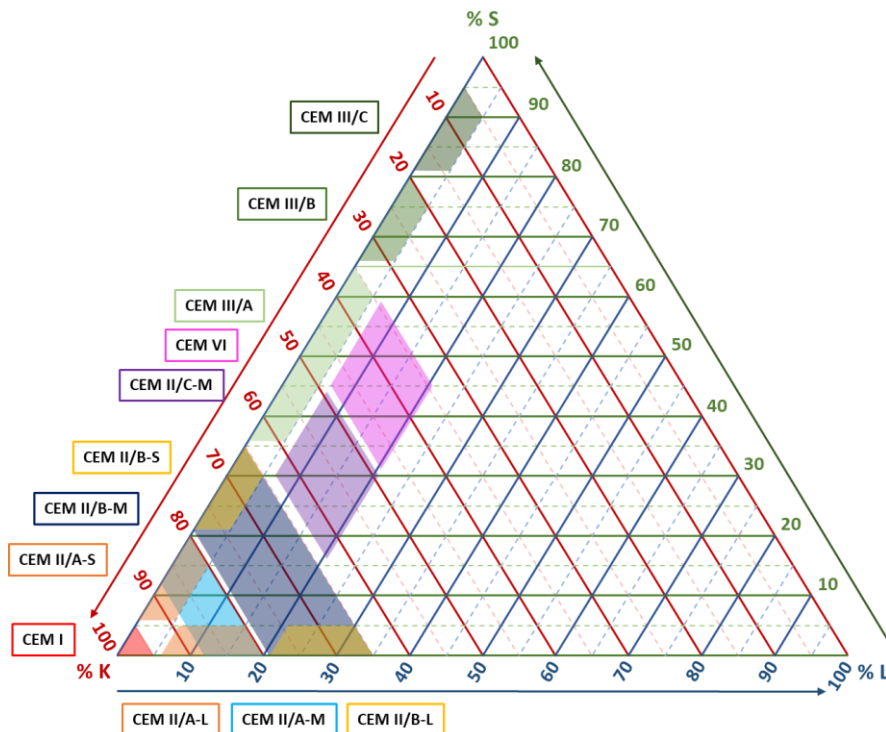
- Justification d'un domaine de composition par une Etude Générique par **dossier technique, validé par tierce partie.**
--> Acceptation de l'Étude Générique : constitue un point d'arrêt, levé avant réalisation de l'épreuve d'étude du béton du projet.

Béton du projet couvert par l'Etude Générique :

- Justification par **dossier technique** détaillant la composition du béton, les performances obtenues et leur interprétation --> **Etude simplifiée.**
Epreuve de convenance --> **Epreuve simplifiée ;**
Contrôle de production (sauf en ouvrage ou partie d'ouvrage Cat 1).

Ensemble de liants totaux

(dans le domaine des ciments
normalisés)



Domaine de formulation Bétons

Pour une DUP donnée et une ou des
classes d'exposition

- Composants du liant fixés (ciment(s), addition(s))
- Teneur minimale en liant total
- Rapport maximal eau efficace sur liant total
- Granulats avec absorption d'eau limitée

PRINCIPES GÉNÉRAUX DE L'APPROCHE PERFORMANTIELLE PAR DOMAINE DE COMPOSITION

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/XS2d3

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

CATEGORIE D'OUVRAGE DEFINIE PAR MOA/MOE

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	X		X
2. Bâtiments et certains ouvrages courants de génie civil conçus pour une durée de vie de 50 ans	X	X	X
3 Ouvrages conçus pour une durée de vie 100 ans et les ouvrages exceptionnels (centrales nucléaires, barrages, tunnels, bâtiments de prestige, ...)	X	X	X

COMPARAISON ENTRE LES DEUX APPROCHES PERFORMANTIELLES

A COMPOSITION UNIQUE (Chapitre 4 du FD P 18-480)

PAR DOMAINE DE COMPOSITION (Chapitre 5 du FD P 18-480)

Ouvrages de génie civil, bâtiment ; Durée utile du projet : 50 ou 100 ans.

Respect de la classe mécanique minimale de ou des classe(s) d'exposition spécifiée(s)

Béton composé avec des constituants aptes à l'emploi selon NF EN 206+A2/CN

Dérogations possibles à la méthode prescriptive

A condition de justifier la durabilité

- Rapport Eau eff / Liant équivalent maxi
- Dosage minimal en liant équivalent

Condition :

- Mini: Liant total $\geq 260 \text{ kg/m}^3$ (XC, XF1),
 $\geq 300 \text{ kg/m}^3$ (pour les autres classes),
- Rapport A/(A+C) maxi

Condition :

- %Clinker du Liant total $\geq 15\%$
- Nature du liant imposée
- Qualité des granulats,
- % granulats recyclés

- Rapport Eau eff / Liant équivalent maxi
- Dosage minimal en liant équivalent

Condition :

- Mini: Liant total $\geq 260 \text{ kg/m}^3$ (XC, XF1),
 $\geq 300 \text{ kg/m}^3$ (pour les autres classes),
- Rapport A/(A+C) maxi

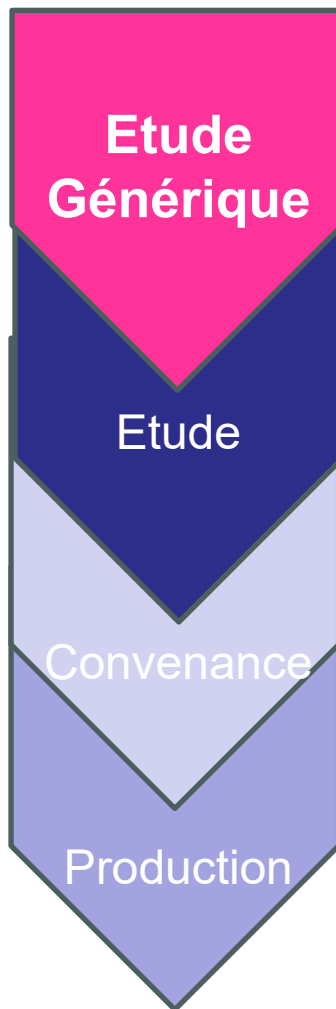
Condition :

- %Clinker du Liant total $\geq 25\%$
- Nature du liant **sauf en XA** : pas de dérogation possible
- Granulats recyclés (**gravillon Type 1, R0 ou R1**)

NB : Pas de dérogation à la classe mécanique minimale de la ou des classe(s) d'exposition

COMPARAISON ENTRE LES DEUX APPROCHES PERFORMANTIELLES

A COMPOSITION UNIQUE (Chapitre 4 du FD P 18-480)	PAR DOMAINE DE COMPOSITION (Chapitre 5 du FD P 18-480)
→ formule de béton unique	→ domaine de formulations de béton via une Etude Générique (EG)
→ <u>vérification des grandeurs de durabilité de la formule de béton</u> selon classe(s) d'exposition et caractéristiques spécifiées (classe mécanique, consistance, ...)	→ <u>vérification des grandeurs de durabilité des formules de béton de l'Etude Générique</u> (extrémités et centre du domaine de l'EG), selon classe(s) d'exposition et caractéristiques spécifiées (classe mécanique, consistance, ...).
Pas de modification de la formule qualification, à l'exception des variations vérifiées par les formules dérivées.	<i>Ajustements possibles de composition :</i> • proportions ciment(s) et addition(s) dans l'ensemble de liants totaux validé de l'EG. • recours à d'autres granulats (si coeff abs $\leq$ coeff abs du domaine validé), • Adjuvants (sauf hydrofuge), • Augmentation de la teneur en Liant total • Diminution teneur Eau eff du domaine validé NB : Pas de changement du ou des ciments ni des additions (<i>mêmes produits que ceux de l'EG</i>)

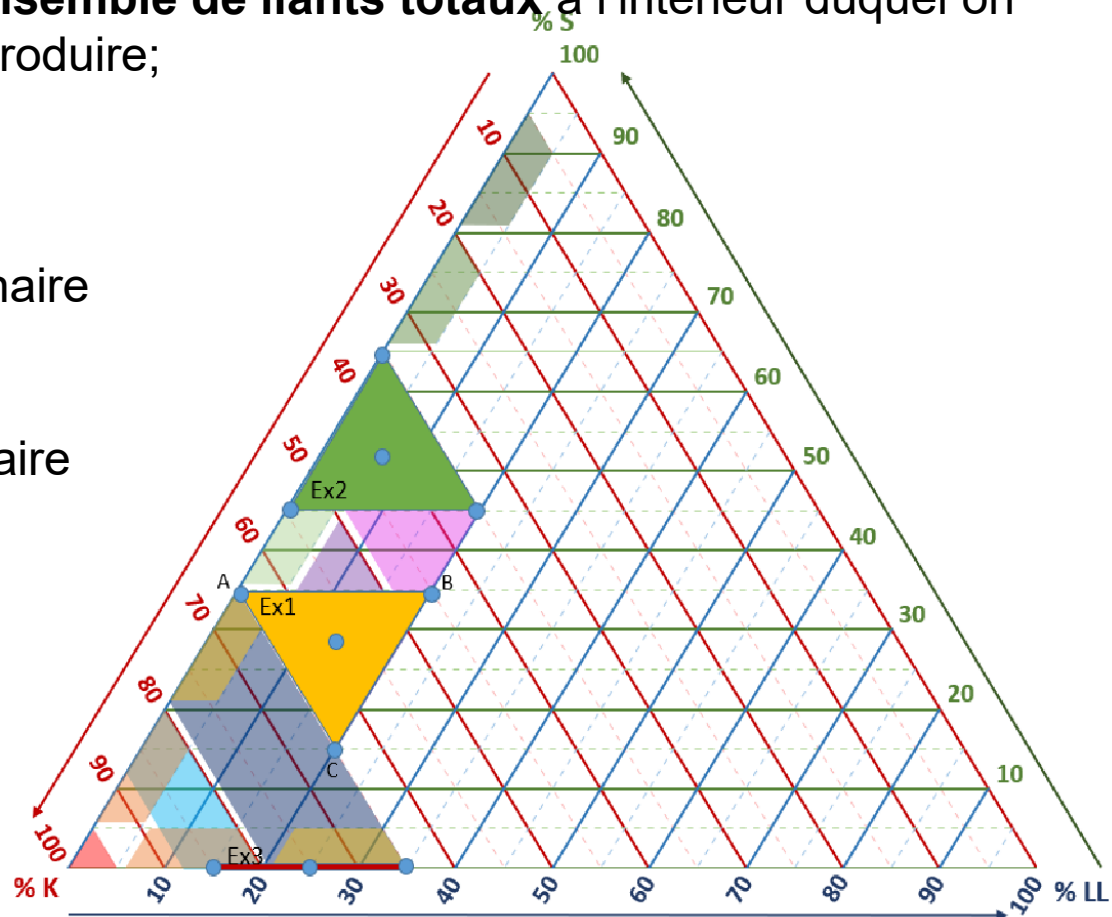


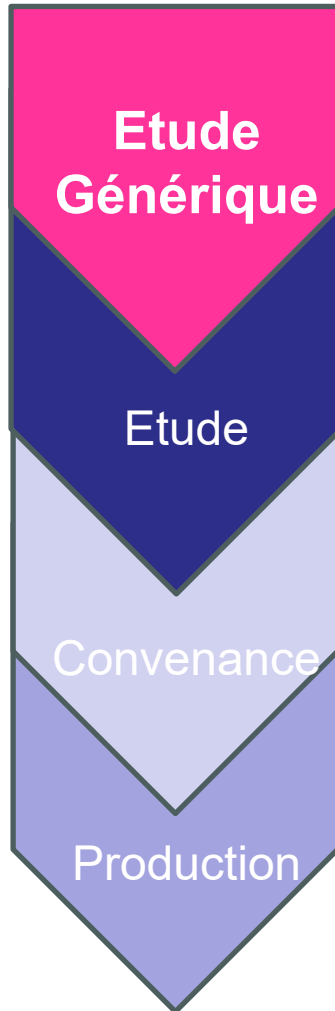
Les étapes de l'Etude Générique :

1. Définir l'ensemble de liants totaux à l'intérieur duquel on souhaite produire;

Ex1 et Ex2 :
ensemble ternaire

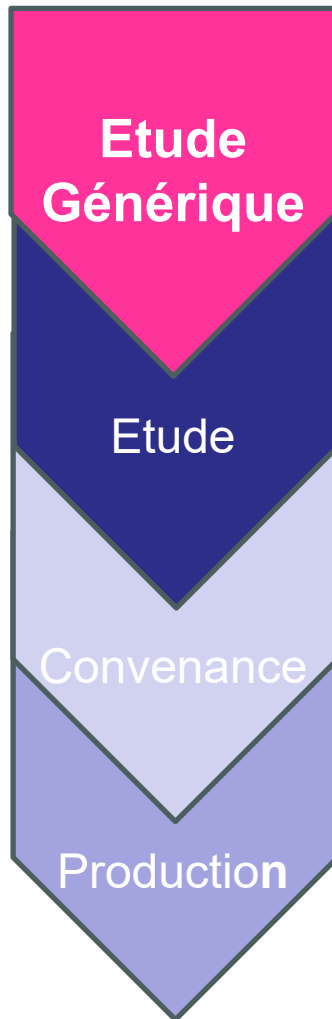
Ex3 :
ensemble binaire





Les étapes de l'Etude Générique :

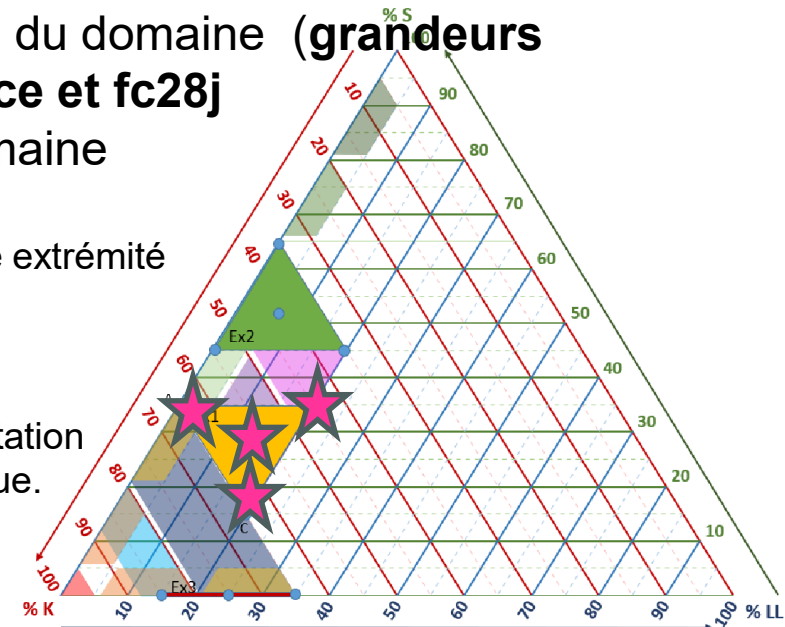
1. Définir l'**ensemble de liants totaux** à l'intérieur duquel on souhaite produire.
2. Définir la **composition des bétons du domaine** :
 - > Composants du liant total fixés (ciment(s), addition(s))
 - > % ciment(s), addition(s) dans l'ensemble de liants totaux défini en 1.
 - > Teneur en liant total fixée
 - > Rapport eau efficace sur liant total fixé
 - > Granulats : code A ou B + fuseau imposé.

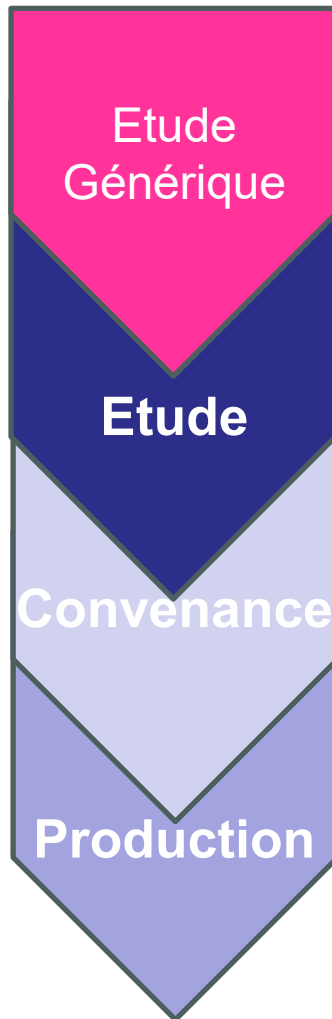


Les étapes de l'Etude Générique :

1. Définir l'**ensemble de liants totaux** à l'intérieur duquel on souhaite produire.
2. Définir la **composition des bétons du domaine**
3. Vérification de la durabilité du domaine (**grandeurs de durabilité, consistance et f_{c28j}**) pour les extrémités du domaine et le centre.
 > 1 gâchée nominale pour chaque extrémité et le centre
 > + dérivées en eau au centre

Application des tests et seuils d'acceptation comme l'approche à composition unique.





Validation par tierce partie de l'EG

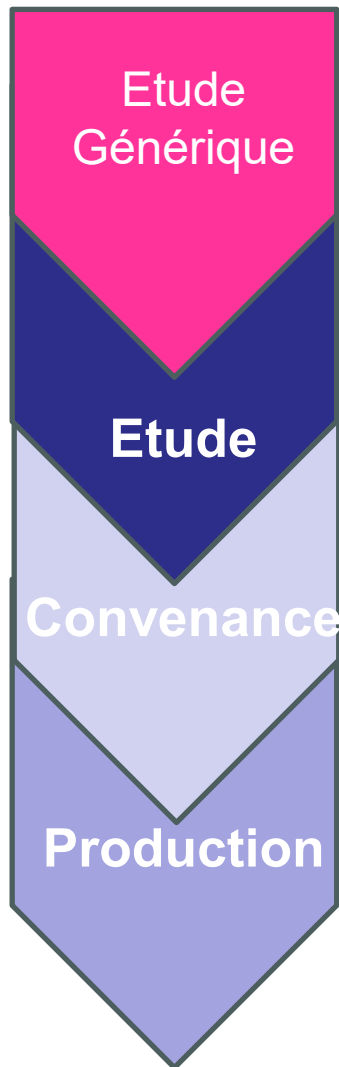
Pour le béton à mettre en œuvre, couvert par le domaine :

4. Une fois le domaine de composition de bétons validé (étude générique) on définit la formule qu'on souhaite produire.

Par rapport à celles de l'étude générique (EG), le béton est formulé avec :

- les mêmes constituants du L_{tot} (et dans le domaine validé)
- $E_{eff}/L_{tot} \leq E_{eff} / L_{tot} (EG) (- 0,02 \text{ pour ouvrage Cat } 3)$
- $L_{tot} \geq L_{tot} (EG)$
- granulats pouvant être différents (Abs inférieure ou égale aux granulats de l'EG *)
- adjuvants pouvant être différents (sauf hydrofuge)

* Avec une marge de 0,5%



Etude Générique validée par tierce partie

Etude béton du projet (préqualification) : Formule nominale + dérivées
(dérivées en eau obligatoires)

- Caractéristiques béton frais
- Résistance mécanique à 28 jours
- Rapport f_{c2j} / f_{c28j}
- **Indicateurs généraux à 28 jours**

Convenance pour le projet : Formule nominale

- Caractéristiques béton frais
- Résistance mécanique à 28 jours
- **Indicateurs généraux à 28 jours**

--> Etude + Convenance validées : Qualification

Contrôle de production :

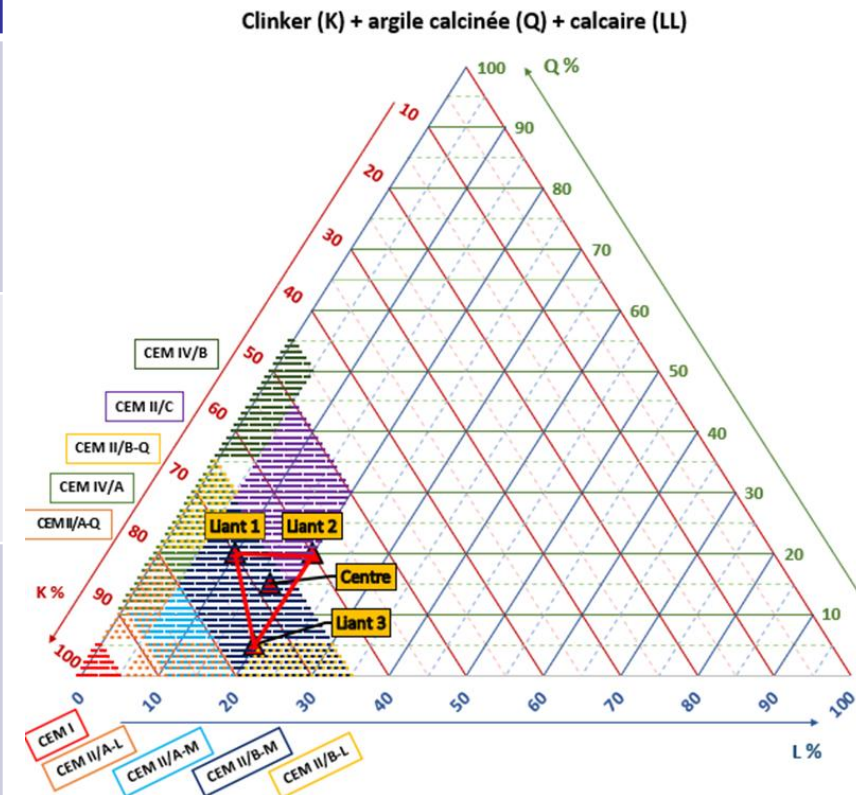
- Caractéristiques béton frais
- Résistance mécanique à 28 jours
- **Indicateurs généraux à 28 jours** (sauf en Cat 1).

Pas de mesure de
grands de mesure de durabilité à
vérifier du fait de l'EG

EXEMPLE

Exemple d'étude générique :

Composants	Proportions
CEM II/A-LL 52,5 R CE CP2 NF du fournisseur XXX (88 % de clinker) ;	68 - 85
Addition calcaire du fournisseur YYY conforme à la norme NF P 18-508	0 - 12
Métakaolin du fournisseur ZZZ conforme à la norme NF P 18-513.	5 - 20



Exemple d'étude générique :

Hypothèses :

- DUP : 100 ans, catégorie d'ouvrage 3 ;
- Classe d'exposition considérée : XC4/XF1 ;
- Dosage en liant total : 286 kg/m^3 ;
- Dosage en eau efficace : 140 kg/m^3 ($E_{\text{eff}}/L_{\text{tot}} = 0,49$) ;
- Consistance BAP (SF1) : 150 kg/m^3 de filler calcaire non pris en compte dans le liant total (complément granulaire *).

**autorisé pour addition calcaire et addition siliceuse uniquement.*

Exemple d'étude générique :

Composition des bétons de l'étude générique

Composition des bétons de l'EG	Ciment CEM II/A-LL 52,5 R CE CP2 NF (88 % de clinker)	Métakaolin	Addition calcaire	Filler calcaire non compris dans le liant total
Béton avec liant 1 (%K 70 ; %Q 20 ; %LL 10)	229 kg/m ³ (202 kg/m ³ de clinker et 27 kg/m ³ de calcaire)	57 kg/m ³	0 kg/m ³	150 kg/m ³
Béton avec liant 2 (%K 60 ; %Q 20 ; %LL 20)	195 kg/m ³ (172 kg/m ³ de clinker et 23 kg/m ³ de calcaire)	57 kg/m ³	34 kg/m ³	150 kg/m ³
Béton avec liant 3 (%K 75 ; %Q 5 ; %LL 20)	243 kg/m ³ (213 kg/m ³ de clinker et 30 kg/m ³ de calcaire)	14 kg/m ³	29 kg/m ³	150 kg/m ³
Béton avec liant du centre (%K 68 ; %Q 15 ; %LL 17)	222 kg/m ³ (196 kg/m ³ de clinker et 26 kg/m ³ de calcaire)	43 kg/m ³	21 kg/m ³	150 kg/m ³

Exemple d'étude générique : Résultats de durabilité sur béton

+ Vérification béton frais,
Résistance mécanique

	Béton 1	Béton 2	Béton 3	Béton 4 (barycentre)	Dérivée - 5l Béton 4	Dérivée + 5l Béton 4
$V_{acc,90j}$ (mm/j ^{1/2})	1,2	1,3	1,0	1,1	0,9	1,5
$P_{eau,28j}$ (%)	14,3	14,7	14,9	14,6	13,9	15,2
ρ_{28j} (Ω.m)	125	128	98	113	125	103

Encadré rouge :
Valeurs seuils pour les
épreuves d'étude et de
convenance du béton
d'ouvrage

Seuil pour XC4 100 ans : $(1,8 \text{ mm/j}^{1/2}) / (1 + 1,5 \cdot 0,2) = 1,38$
pour un écart-type prévisionnel de 0,28 pour la V_{acc}

Exigences sur les constituants, composition du béton destiné à être mis en œuvre et propriétés :

Exigences sur les constituants :

- Même(s) ciment(s), même(s) addition(s), mais dont les proportions peuvent varier selon l'EG
- Possibilité de modifier les granulats (nature et dosage)
- Possibilité de modifier les adjuvants (nature et dosage, à l'exception de l'hydrofuge de masse)
- Possibilité d'ajouter des fibres, des agents de viscosité, des pigments

Exigences sur la composition du béton et les propriétés :

- Possibilité d'ajuster à la hausse la teneur en liant total
- Possibilité d'ajuster à la baisse le rapport $E_{\text{eff}}/L_{\text{tot}}$
- Classe de résistance mécanique supérieure autorisée
- Classe de consistance supérieure autorisée

Critères d'acceptation pour les indicateurs généraux en étude et convenance du béton pour le projet :

Porosité accessible à l'eau (ou absorption d'eau)

→ pas supérieure de plus de 10 % de la valeur maximale obtenue pour les bétons d'Étude Générique, soit **< 16,5 %** (arrondi à 0,5 % près) selon l'exemple précédent

Résistivité électrique

→ pas inférieure de plus de 20 % de la valeur minimale obtenue pour les bétons d'Étude Générique, soit **> 80 $\Omega.m$** (arrondi à 10 $\Omega.m$ près) selon l'exemple précédent

	Béton 1	Béton 2	Béton 3	Béton 4 (barycentre)	Dérivée - 5l Béton 4	Dérivée + 5l Béton 4	Encadré rouge : Valeurs seuils pour les épreuves d'étude et de convenance du béton d'ouvrage
$V_{acc,90j}$ (mm/j ^{1/2})	1,2	1,3	1,0	1,1	0,9	1,5	
$P_{eau,28j}$ (%)	14,3	14,7	14,9	14,6	13,9	15,2	
ρ_{28j} ($\Omega.m$)	125	128	98	113	125	103	

Application à l'ouvrage fil rouge :

Béton	B4 piles et culées non exposées	B6 tablier
Classe de résistance mécanique	C30/37	C35/45
Classe exposition	XC4/XF1	XC4/XF1
CEM II/A-LL 52,5 R CE CP2 NF du fournisseur XXX	225 kg / m ³ (73% du liant total)	230 kg / m ³ (77% du liant total)
Addition calcaire du fournisseur YYY	35 kg / m ³ (11% du liant total) + 175 kg / m ³ (hors liant total, complément granulaire)	20 kg / m ³ (7% du liant total) + 180 kg / m ³ (hors liant total, complément granulaire)
Métakaolin du fournisseur ZZZ	50 kg/m ³ (16% du liant total)	50 kg/m ³ (17% du liant total)
Eau efficace	145 kg/m ³	140 kg/m ³
Teneur en liant total	310 kg / m ³ (≥ 286 de l'EG)	300 kg / m ³ (≥ 286 de l'EG)
Rapport eau efficace sur liant total	0,47 (≤ 0,49 – 0,02)	0,47 (≤ 0,49 – 0,02)

CONCLUSION

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

INTÉRÊTS POSSIBLES DES APPROCHES PERFORMANTIELLES

- 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'**impact environnemental** 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** (en approche à composition unique).
- **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)

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)

➡ Intérêt de **l'approche par domaine de composition**

➡ Intérêt de disposer de **formules locales préqualifiées**

concept de références probantes d'emploi disposant de mesures des indicateurs .

- **Prise en compte de la démarche dans le PAQ** de l'opération (compétences, moyens, modes opératoires d'essai, contrôles...)

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

CONTRAINTES ASSOCIÉES

UN OUTIL CONTRAIGNANT MAIS QUI PEUT ETRE BENEFIQUE.

Selon le cas,

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

Merci pour votre attention





Question 1 : Dans l'approche performantielle à composition unique, lorsque elle est proposée par l'entreprise, quel est le rôle du MOE?

- A.** Réaliser lui-même tous les essais de durabilité sur le béton.
- B.** Définir librement la composition du béton et imposer les seuils de durabilité sans étude préalable.
- C.** Vérifier la catégorie d'ouvrage / niveau d'application proposé par l'entreprise, valider le contrôle extérieur approprié.



Question 1 : Dans l'approche performantielle à composition unique, lorsque elle est proposée par l'entreprise, quel est le rôle du MOE ?

- A. Réaliser lui-même tous les essais de durabilité sur le béton.**
- B. Définir librement la composition du béton et imposer les seuils de durabilité sans étude préalable.**
- C. Vérifier le niveau d'application proposé par l'entreprise, valider le contrôle extérieur approprié.**



Question 2: Quel est un critère général d'acceptation des indicateurs en convenance pour l'approche à composition unique ?

- A.** Résistivité 28 j ≥ 80 % de la valeur obtenue en étude, et % absorption ≤ 110 % de la valeur en étude.
- B.** Résistivité ≥ 20 % de la valeur en étude.
- C.** Les valeurs d'étude n'ont aucune importance en convenance.



Question 2: Quel est un critère général d'acceptation des indicateurs en *convenance* pour l'approche à composition unique ?

- A. Résistivité 28 j ≥ 80 % de la valeur obtenue en étude, et % absorption ≤ 110 % de la valeur en étude.**
- B. Résistivité ≥ 20 % de la valeur en étude.**
- C. Les valeurs d'étude n'ont aucune importance en convenance.**



Question 3 : Dans l'approche par domaine de composition, qu'est-ce qu'une « Étude Générique » ?

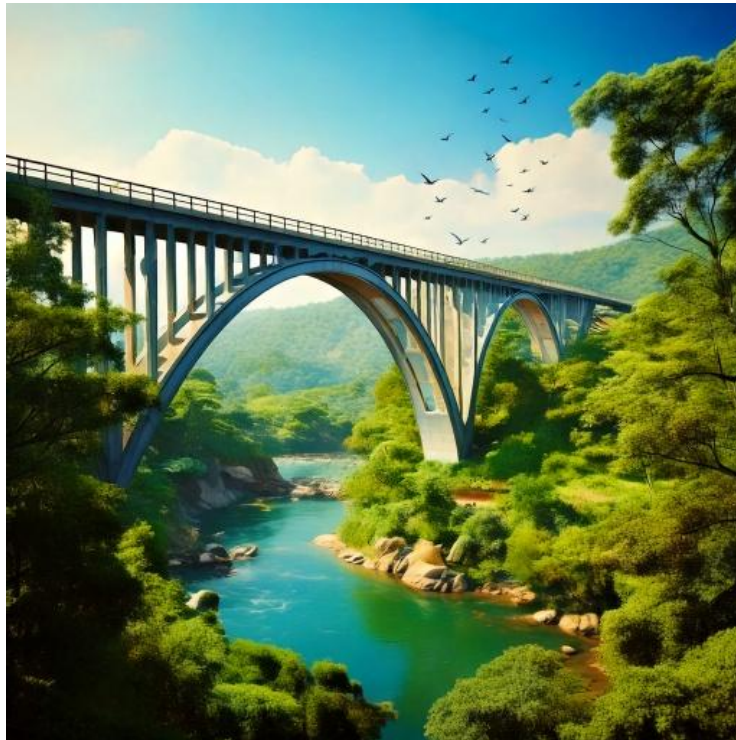
- A.** Une étude limitée à un seul béton, équivalente à une qualification usine classique.
- B.** Une étude validée par tierce partie qui définit un domaine complet de compositions, testé en durabilité sur ses extrémités et son centre. Elle couvre ensuite plusieurs bétons projets.
- C.** Un document interne non soumis à validation extérieure



Question 3 : Dans l'approche par domaine de composition, qu'est-ce qu'une « Étude Générique » ?

- A. Une étude limitée à un seul béton, équivalente à une qualification usine classique.**
- B. Une étude validée par tierce partie qui définit un domaine complet de compositions, testé en durabilité sur ses extrémités et son centre. Elle couvre ensuite plusieurs bétons projets.**
- C. Un document interne non soumis à validation extérieure**

SPÉCIFICATION DES BÉTONS POUR DES OUVRAGES À IMPACT CARBONE RÉDUIT



OPTIMISATION DU BETON ET UNITE FONCTIONNELLE

2 voies pour réduire l'impact carbone :

Cas 1 : réduction à l'échelle du m³ de béton

Béton répondant à la classe de réduction prescrite (GWR)

Cas 2 : réduction à l'échelle de l'unité fonctionnelle

Unité fonctionnelle dont le dimensionnement est optimisé (moins de béton généralement), d'empreinte carbone au moins équivalente au cas 1

Empreinte CO₂ comparée des **ouvrages jumeaux**
de la déviation de Bourges ⁽¹⁾

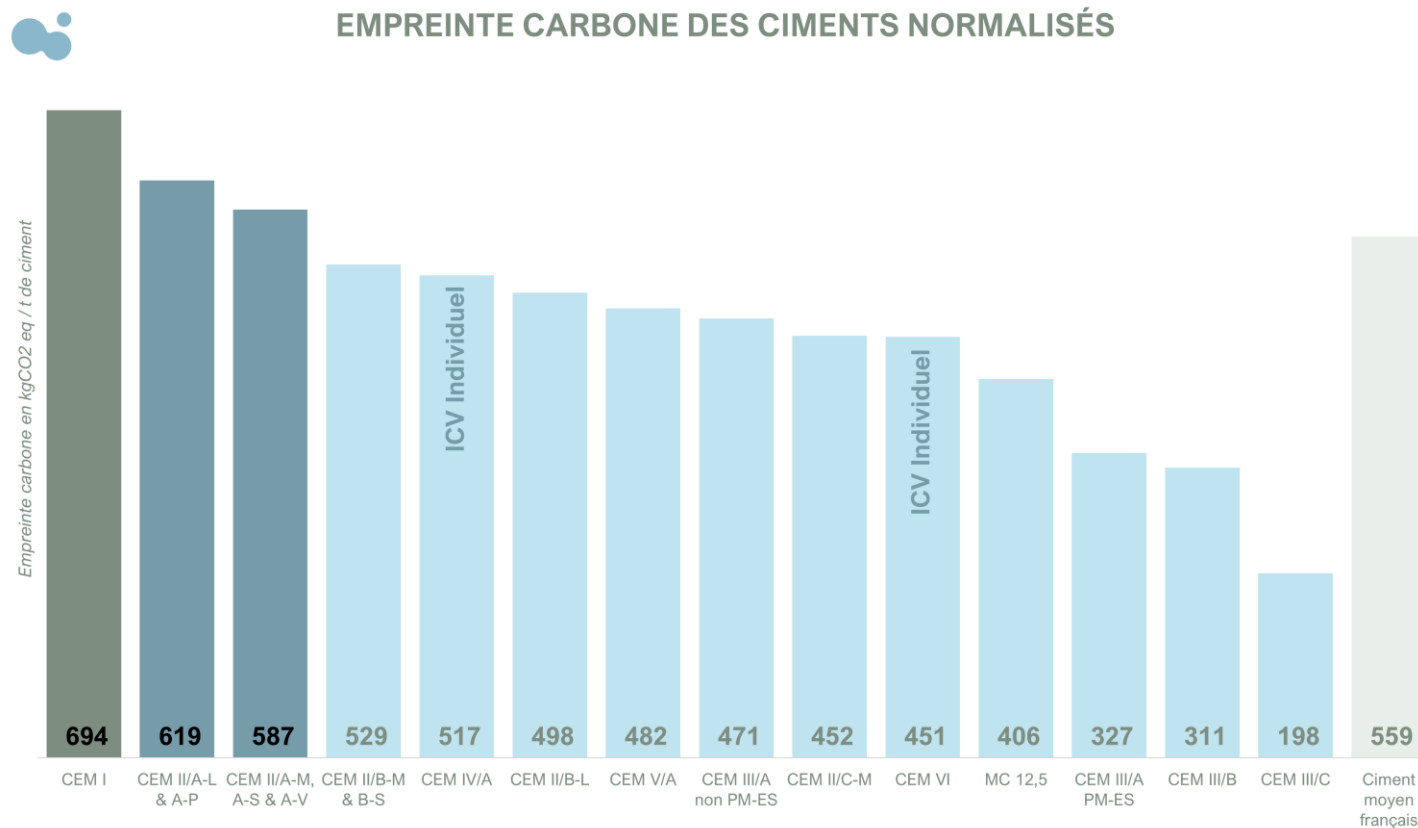


	Béton C35/45 ⁽²⁾ et armatures	Béton C80/95 ⁽³⁾ et armatures
Elancement	1/22	1/30
Poids du tablier (t)	975	520
Béton : volume / empreinte CO₂	390 m ³ 117 000 kg CO ₂ eq	188 m ³ 71 440 kg CO ₂ eq
Aciers béton armé⁽⁴⁾	39 t 40 560 kg CO ₂ eq	39 t 40 650 kg CO ₂ eq
Précontrainte⁽⁵⁾	12 t 21 480 kg CO ₂ eq	8 t 14 320 kg CO ₂ eq
TOTAL	179 040 kg CO₂eq	126 410 kg CO₂eq

(1) Sources PN BHP 2000
(2) BETIE v4 : 300 kg CO₂eq/m³
(3) BETIE v4 380 kg CO₂eq/m³
(4) APA v1.8 1040 kgCO₂eq/t
(5) NEDRI 2022 1790 kgCO₂eq/t

Réduction de 29% en faveur du BHP (hors valorisation chantier, appuis et durabilité)

Impact carbone des ciments normalisés *



Données collectives des ciments produits en France métropolitaine par les adhérents de France Ciment, et établies en conformité avec la norme NF EN15804+A2 et son complément national NF EN15804+A2/CN. Sauf accord préalable de France Ciment, ces valeurs ne doivent pas être utilisées pour établir et rendre public des déclarations environnementales utilisant des ciments d'autres origines et/ou d'autres producteurs, sous peine de poursuites pour pratiques commerciales trompeuses.
Les adhérents de France Ciment sont Eciom, Heidelberg Materials, Lafarge Holcim et Vicat : www.france-ciment.fr/qui-sommes-nous/
Reproduction du graphique selon accord préalable de France Ciment, Octobre 2025.

Ex d'empreintes carbone de ciments collectives (@France Ciment)

« BAS CARBONE », ON PEUT DÉJÀ EN FAIRE

Impact carbone des additions normalisées



* Sources: Ressources minérales pour les liants des bétons décarbonés : disponibilité, perspectives d'évolution et innovations (Cerib, Septembre 2022)

** @Argeco : 170 kg CO₂ eq / t

*** @Ecocem : 102 / 106 kg CO₂ eq / tonne

Impact carbone des granulats

ICV UPNG	unité	Granulats roches massives	Granulats roches meubles	Granulats marins	Granulats recyclés
v2026	kg CO2e/t	4,53	3,94	6,54	3,19
v2017/2018	kg CO2e/t	2,60	2,77	Inclus dans roche meuble	1,64
Ecart		+74%	+42%	-	+95%



GWR0 à GWR7 (DUP 50 ans)



GW100R0 à GW100R7
(DUP 100 ans)

Classe de réduction carbone	Plage de réduction (%)
GWR0 ou GW100R0	≤ 9
GWR1 ou GW100R1	10-19
GWR2 ou GW100R2	20-29
GWR3 ou GW100R3	30-39
GWR4 ou GW100R4	40-49
GWR5 ou GW100R5	50-59
GWR6 ou GW100R6	60-69
GWR7 ou GW100R7	≥ 70

GWR est calculé :

$$GWR = 100 * \left[1 - \left(\frac{PRG \text{ Total du beton}}{PRG \text{ Beton de base correspondant}} \right) \right]$$



PRG-Total = Potentiel de réchauffement global – total

Indicateur associé à la catégorie d'impact « Changement climatique - total » - norme NF EN 15804 + A2/CN (kgCO₂eq/UF)



Constituants du béton *



Transport des constituants du béton jusqu'au lieu de production



Fabrication du béton jusqu'à la sortie du béton du malaxeur

Modules A1-A3
(kgCO₂eq/m³ béton)

* hors armatures et autres renforts comme câbles de précontrainte et fibres



La valeur de l'indicateur PRG-total d'un mètre cube du béton doit être issue soit :

- d'un **configurateur de FDES vérifié dans le cadre du programme de déclaration INIES**, ou
- d'une **FDES vérifiée** dans le cadre de ce même programme, ou
- d'un **outil de calcul, soumis à revue critique périodique par tierce partie indépendante** (traçabilité, ...)

PRG-Total Béton de
base C30/37 XC4 : NF
EN 206 ?



 = 235 kg CO₂ eq/ m³

XC4



R _c	DUP	XC1	XC2	XC3	XC4	XS1	XS2	XS3	XD1	XD2	XD3	XF1	XF2	XF3	XF4	XA1	XA2	XA3
C20/25	50	219	219															
C25/30	50	219	219	235	235				235			235	252					
	100	235	235															
C30/37	50	235	235	235 ^{a)}	235 ^{a)}	276	276		235 ^{a)}	276		235 ^{a)}	274	274	285	276		
	100	235	235	252	276	276	276		276	276		276	292	318	318	276		
C35/45	50	276	276	276	276	276	276	292	276	276	292	276	300	301	301	276	292	
	100	276	276	276	276	276	276	292	276	276	292	276	300	323	323	276	292	
C40/50	50 et 100	318	318	318	318	318	318	318	318	318	318	318	330	330	330	318	318	318
C45/55	50 et 100	336	336	336	336	336	336	336	336	336	336	336	346	346	346	336	336	336
C50/60	50 et 100	354	354	354	354	354	354	354	354	354	354	354	366	366	366	354	354	354
C55/67	50 et 100	356	356	356	356	356	356	356	356	356	356	356	367	367	367	356	356	356
C60/75	50 et 100	357	357	357	357	357	357	357	357	357	357	357	368	368	368	357	357	357
a) Valeur portée à 252 pour les bétons précontraints																		

A noter:

- Classe **X0**, sans classe de résistance spécifiée : 134 kgCO₂eq/m³
- Classes **X0** et **XC0** en C16/20 : 204 kgCO₂eq/m³

Modulations possibles du PRG-total de base



Utilisation de granulats recyclés (GBR)

Dans le cas de l'utilisation de granulats recyclés (à partir de la classe de taux de substitution R1), majoration de **+10 kgCO₂eq/m³**



BAP

Majoration de **+30 kgCO₂eq/m³**.



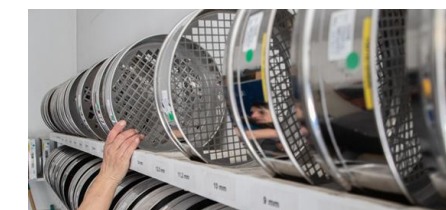
Cas où D_{max} < 20 mm

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



Cette modulation sur le D_{max} s'applique après application des autres modulations.

Contraintes techniques liées au projet ou bien à la mise en place du béton (densité d'armatures, pompage du béton, enrobage, ...)



Exemple de calcul du PRG total dans le cas d'un béton

Un CCTP établit les exigences suivantes pour une partie d'ouvrage de bâtiment :

Classes d'exposition	Classe de résistance	D _{max} granulats	% recyclés	Classe carbone
XF4	C30/37	16 mm	R1 (~10%)	GWR2

$$\text{PRG-total du béton de base} = (285 + 10) \times 1,045 = 308 \text{ kgCO}_2\text{eq/m}^3$$

XF4
C30/37
DUP 50

Granulats
recyclés

D_{max}

1

Etape 1: calcul de la valeur de PRG-total du béton de base

2

Etape 2: Formulation proposée par le BPE, l'entreprise ou le préfabricant

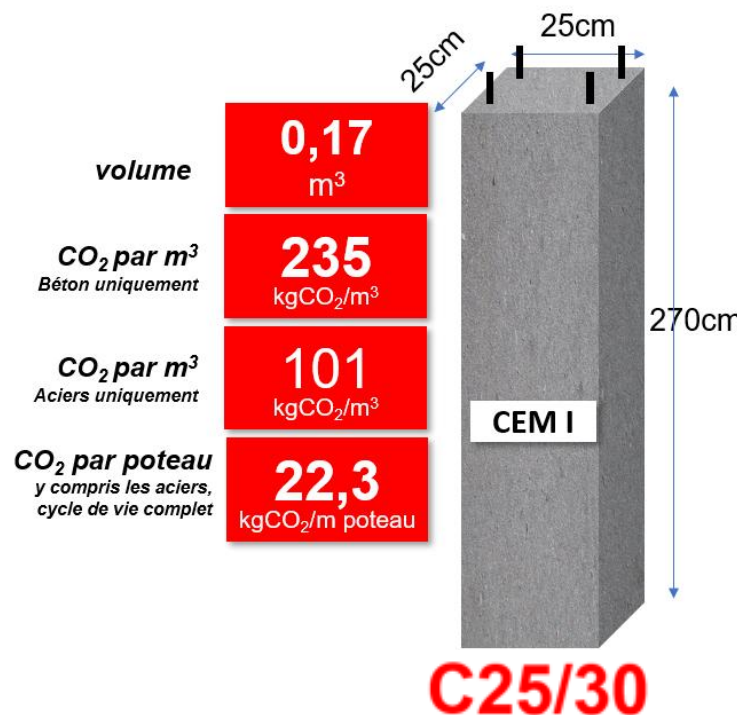
Formule de béton (kg/m³)

Ciment CEM II/B-LL 42,5	357
Graviers D16 (dont GBR)	950
Sable	800
Eau efficace	158
Superplastifiant	3,5
Entraîneur d'air	1,0

Vérification de la classe GWR du béton

PRG-total du béton (kgCO ₂ eq/m ³)	234
% réduction (base = 308)	$100 \times (1 - 234/308) = 24 \%$
Classe de réduction	GWR2 ✓

Exemple d'un poteau (base)



CEM I facteur d'émission 748 kg/to (France Ciment 2023)

Aciers, facteur d'émission 1120 kg/to (APA 2023)

Capacité portante (F) en compression (0,87 MN)

Section aciers 3,14 cm² (4 Φ10mm 500MN) + cadres Φ 6

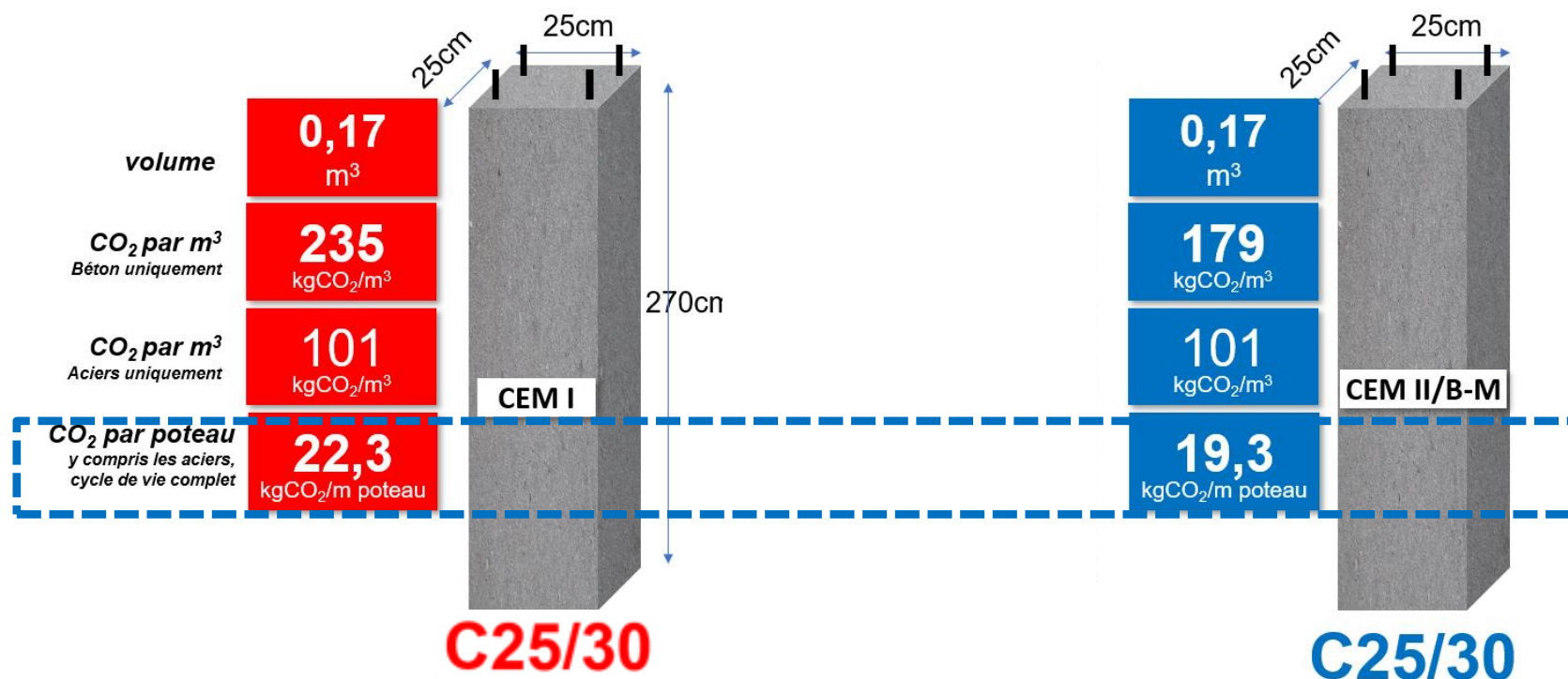
Dosage aciers (90 kg/m³ pour 25cmx25cm ; 110 kg/m³ pour 20cmx20cm)

Le calcul comprend le cycle de vie complet (A1-C4), et est basé sur les formules de référence SNBPE

Exemple d'un poteau

– Optimisation matériau béton

CAS 1



CEM I facteur d'émission 748 kg/to (France Ciment 2023)
CEM II/B-M, facteur d'émission 553 kg/to (France Ciment 2023)
Aciers, facteur d'émission 1120 kg/to (APA 2023)

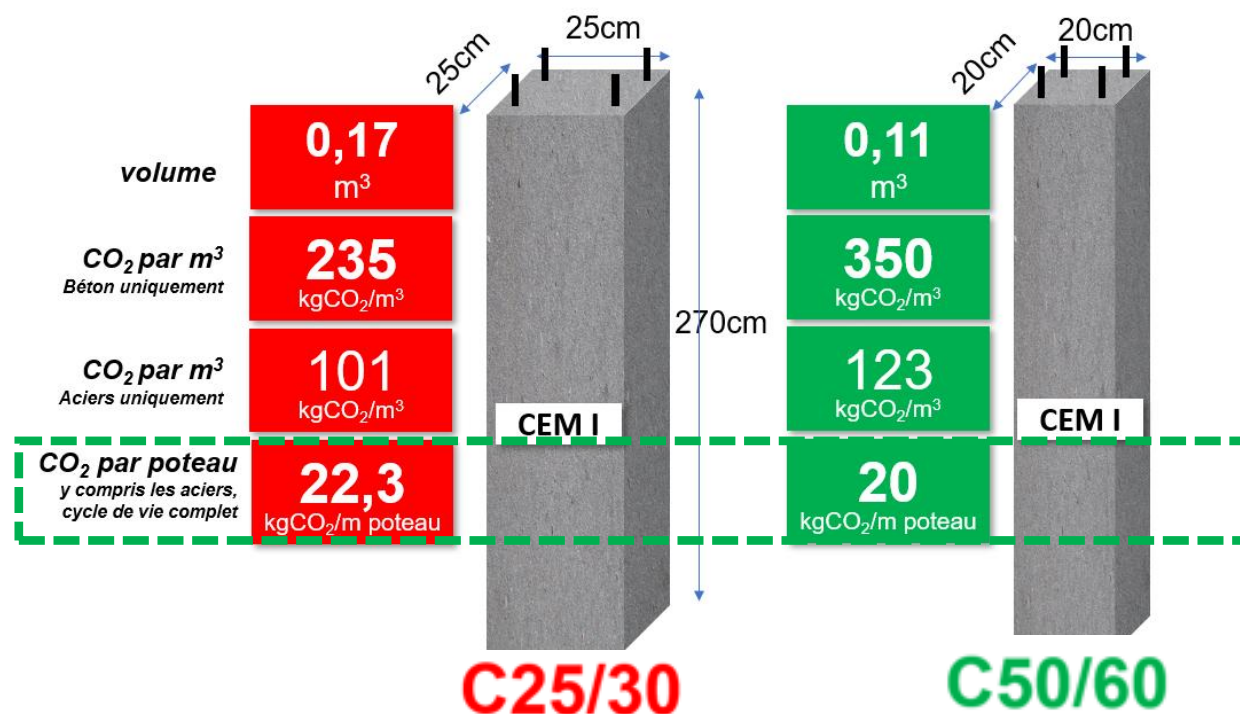
Capacité portante (F) en compression identique (0,87 MN)

Section aciers 3,14 cm² (4 Φ10mm 500MN) + cadres Φ 6
Dosage aciers (90 kg/m³ pour 25cmx25cm ; 110 kg/m³ pour 20cmx20cm)
Le calcul comprend le cycle de vie complet (A1-C4), et est basé sur les formules de référence SNBPE

Exemple d'un poteau

– Optimisation de dimensionnement

CAS 2

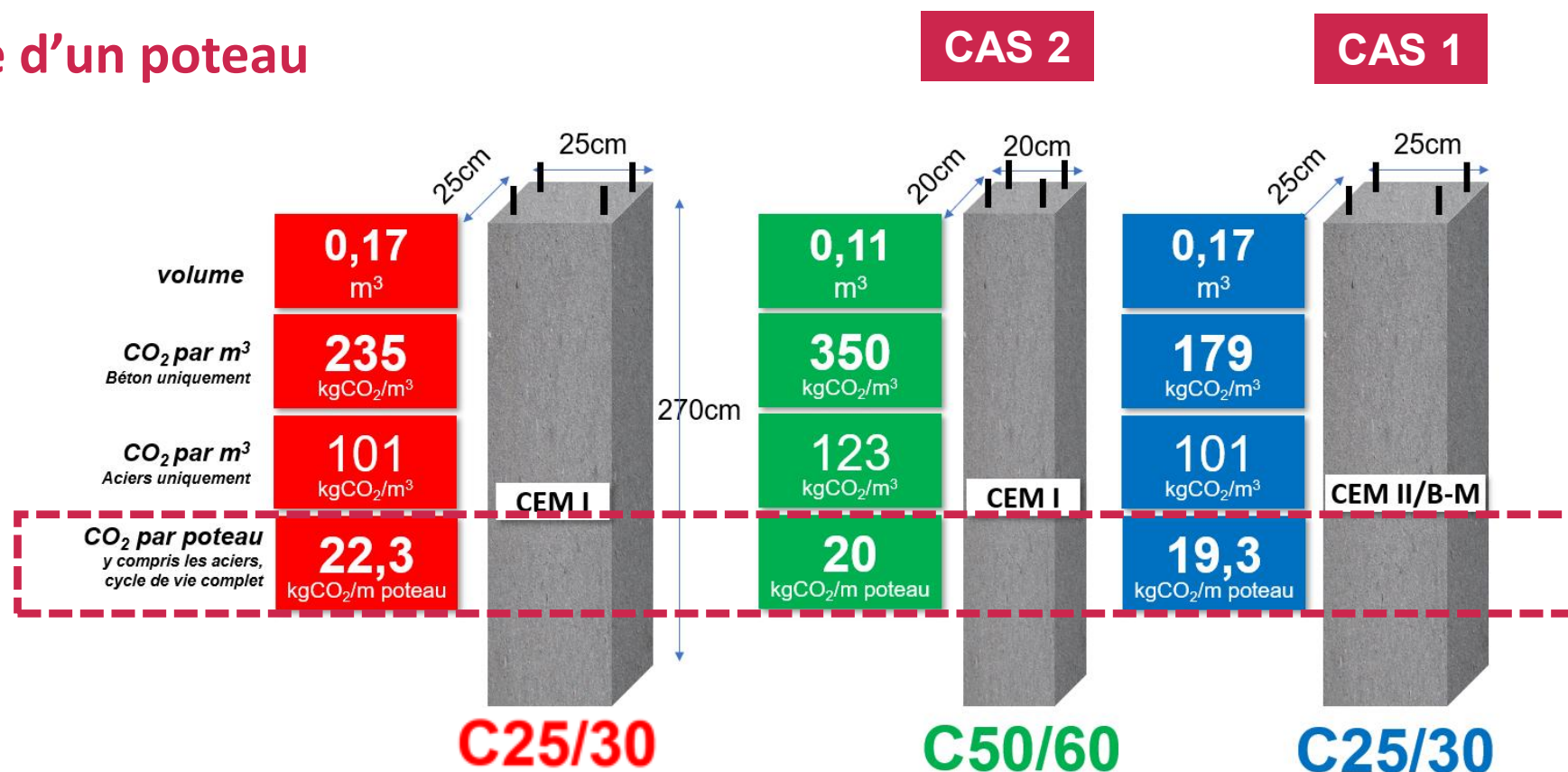


CEM I facteur d'émission 748 kg/to (France Ciment 2023)
CEM II/B-M, facteur d'émission 553 kg/to (France Ciment 2023)
Aciers, facteur d'émission 1120 kg/to (APA 2023)

Capacité portante (F) en compression identique (0,87 MN)

Section aciers 3,14 cm² (4 Φ10mm 500MN) + cadres Φ 6
Dosage aciers (90 kg/m³ pour 25cmx25cm ; 110 kg/m³ pour 20cmx20cm)
Le calcul comprend le cycle de vie complet (A1-C4), et est basé sur les formules de référence SNBPE

Exemple d'un poteau



CEM I : facteur d'émission 748 kg/to (France Ciment 2023)
CEM II/B-M, facteur d'émission 553 kg/to (France Ciment 2023)
Aciers, facteur d'émission 1120 kg/to (APA 2023)

Section aciers 3,14 cm² (4 Φ10mm 500MN) + cadres Φ 6
Dosage aciers (90 kg/m³ pour 25cmx25cm ; 110 kg/m³ pour 20cmx20cm)
Le calcul comprend le cycle de vie complet (A1-C4), et est basé sur les formules de référence SNBPE

¹ NB : La capacité portante (F) en compression est la même dans les 3 cas (0,87 MN)

La combinaison des 2 variantes est également possible !

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...

LES LEVIERS POUR RÉDUIRE L'IMPACT CARBONE DES OUVRAGES EN BÉTON

À l'échelle des process

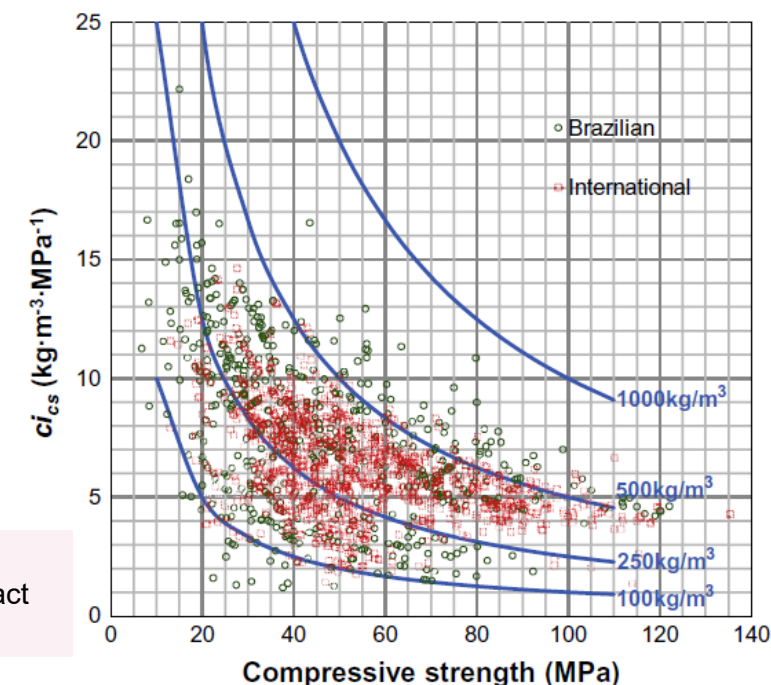
- Optimiser la régularité et l'homogénéité des gâchées de béton
- Veiller à la maîtrise des teneurs en eau des constituants et du béton frais
- Optimiser les moyens utilisés pour compacter le béton
- Optimiser les éventuels équipements permettant de réaliser les traitements thermiques

$$c_i = \frac{\text{émission CO}_2}{f_{cm}}$$

Damineli et al. (2010)

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



A paraître en 2025:

FD P 18-483-1 Ecoconception des structures en béton – Partie 1 : Optimisation des ouvrages béton pour des conceptions à impact carbone réduit

Exemple de clause

Lorsque l'unité fonctionnelle est préalablement dimensionnée, la référence à une classe de réduction GWR s'entend comme intégrant toutes les solutions correspondant à l'un des deux cas suivants :

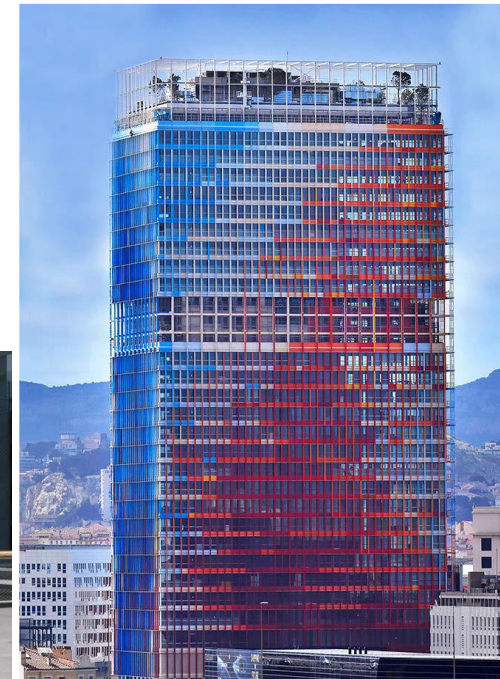
Cas 1 :

Une structure répondant au dimensionnement tel qu'il a été préalablement défini et, dont le béton respecte a minima la classe de réduction GWR.

Cas 2 :

Une structure dont l'optimisation du dimensionnement est telle que la réduction d'impact sur le changement climatique à l'échelle de l'unité fonctionnelle est au moins équivalente au cas 1 (classe de réduction GWR spécifiée) quelle que soit la classe GWR du ou des béton(s) utilisé(s) (PRG de la structure optimisée inférieur ou égale à celui de la structure de base).

Merci de votre attention



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





Question 1 : Qu'est-ce que représente la classe GWR dans la spécification des bétons ?

- A.** Une classe de réduction de l'impact carbone d'un béton par rapport à un béton de référence.
- B.** Une classe indiquant le niveau de durabilité mécanique d'un béton sans lien avec le carbone.
- C.** Une classification des granulats recyclés selon leur porosité.



Question 1 : Qu'est-ce que représente la classe GWR dans la spécification des bétons ?

- A. Une classe de réduction de l'impact carbone d'un béton par rapport à un béton de référence.**
- B. Une classe indiquant le niveau de durabilité mécanique d'un béton sans lien avec le carbone.**
- C. Une classification des granulats recyclés selon leur porosité.**





Question 2 : Quel est l'un des leviers principaux de décarbonation lorsque le dimensionnement de l'ouvrage est figé ?

- A. Modifier la section des éléments en béton sans recalcul structurel.
- B. Augmenter la teneur en eau pour diminuer la quantité de ciment.
- C. Réduire la teneur en clinker du liant (ex: choix du / des ciments ou combinaison ciment + additions).



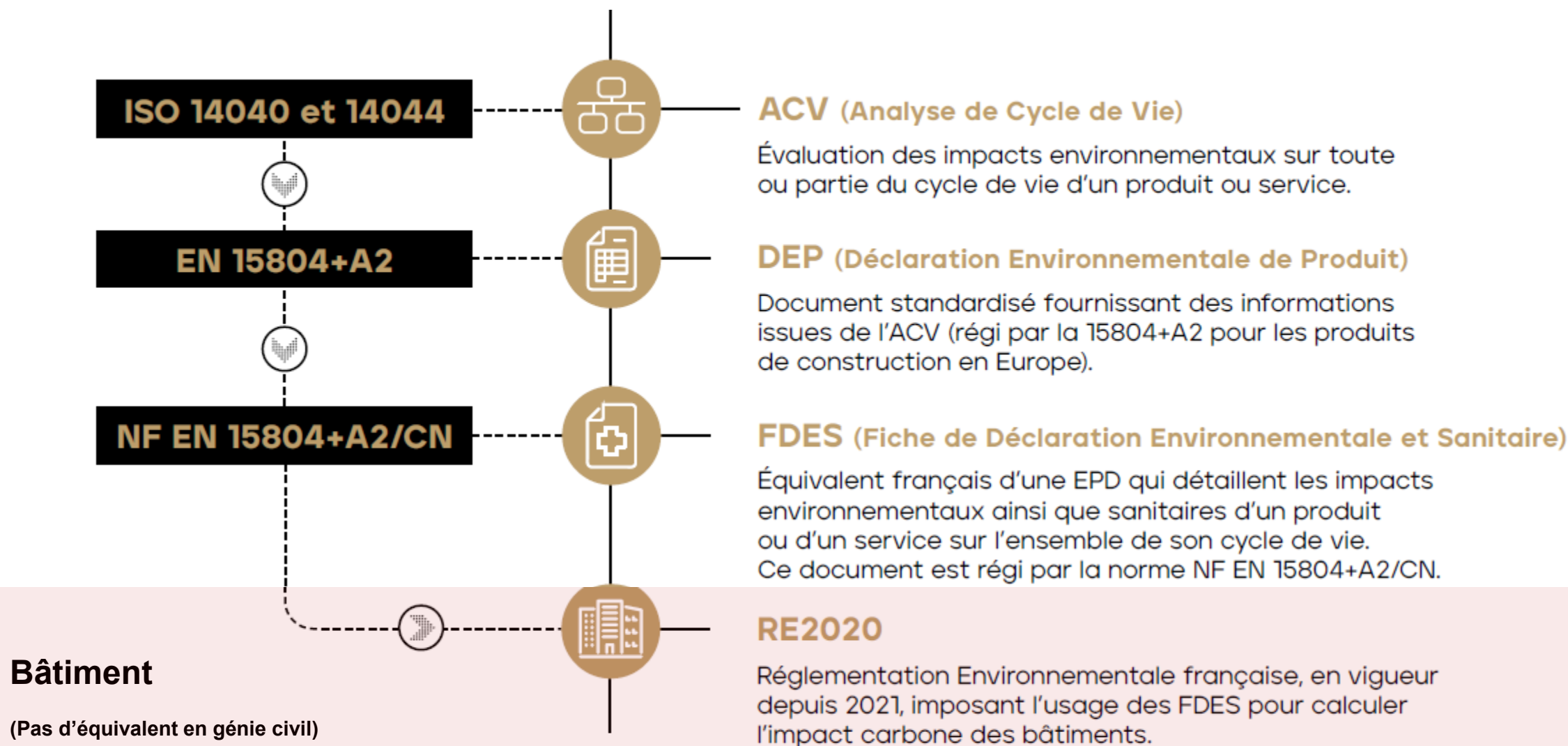
Question 2 : Quel est l'un des leviers principaux de décarbonation lorsque le dimensionnement de l'ouvrage est figé ?

- A. Modifier la section des éléments en béton sans recalcul structurel.**
- B. Augmenter la teneur en eau pour diminuer la quantité de ciment.**
- C. Réduire la teneur en clinker du liant (ex: choix du/ des ciments ou combinaison ciment + additions).**

Calcul d'impacts environnementaux

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

CADRE REGLEMENTAIRE



DES CONSTITUANTS ...



Module ICV

(Module d'Information sur le Cycle de Vie)

- ✓ Concerne les produits "amonts"
- ✓ Évalue l'impact environnemental de la production d'un produit jusqu'à sa sortie d'usine ("cradle to gate").

AU BETON / PRODUIT EN BETON



FDES

(Fiche de Déclaration
Environnementale et Sanitaire)

- ✓ Évalue les impacts sur l'ensemble du cycle de vie ("cradle to grave").
- ✓ Décomposée en 4 modules :
 - A** Fabrication
 - B** Vie du bâtiment
 - C** Déconstruction
 - D** Après la fin de vie (donné à titre d'information mais non pris en compte dans les calculs normatifs)
- ✓ Contrôlé par des vérificateurs.
- ✓ Intègre des données sanitaires.

... A L'OUVRAGE



ACV génie civil

(Analyse du cycle de vie)

- ✓ Évalue les impacts environnementaux d'un ouvrage sur l'ensemble du cycle de vie
 - A** Impacts de tous les éléments de la construction d'un ouvrage (fabrication, transport, mise en œuvre).
 - B** Impacts pendant la vie de l'ouvrage (remplacement des éléments, entretien, consommation, en particulier énergétique).
 - C** Impacts de la déconstruction.

OU TROUVER LES DONNEES ?

Les configurateurs de FDES

conformes à la RE2020, pour affiner les résultats



BETie

Création de FDES sur-mesure dans le cadre d'un projet spécifique en béton prêt à l'emploi.

Lien d'accès :

<https://www.snbpe.org/betie-4-0/>



(Bâtiment mais perspective de produits TP)

ENVIRONNEMENT IB

Outil de paramétrage pour l'édition de FDES de produits préfabriqués en béton.

Lien d'accès :

<https://www.environnement-ib.com/login>



Les DEP CIOGEN



Base de données DIOGEN

Comment les données sont-elles construites dans la base de données DIOGEN ?

Deux cas de figure se présentent, soit les données existent – par exemple dans des EPD, soit elles n'existent pas et il faut les construire :

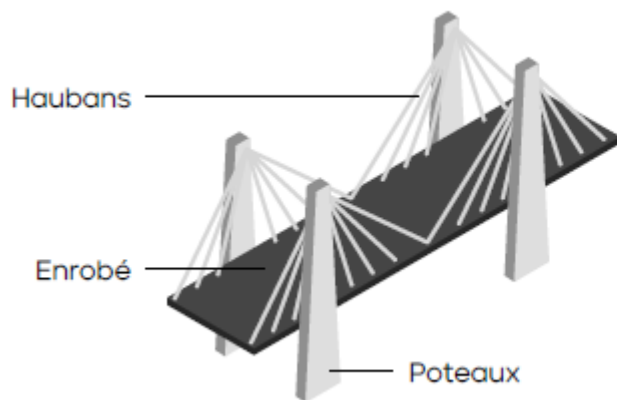
- Dans le premier cas, elles sont extraites des EPD existantes avec une attention particulière au périmètre d'étude puis qualifiées à l'aide de la matrice de cotation. Ces données sont qualifiées de « **données spécifiques** ».
- Dans le second cas elles sont construites à partir de données bibliographiques et/ou de données génériques. Elles font également l'objet de la qualification par la matrice de cotation. Ces données sont qualifiées de « **données construites** ».

Elles sont alors moins contextualisées puisqu'appuyées le plus souvent sur des données moyennées. Cependant ces « données construites », bien que moins contextualisées, ont un intérêt certain lié à l'établissement d'un modèle qui peut être importé dans différents logiciels ACV (OpenLCA, Brightway...), et qui peut donc faire l'objet d'une capitalisation. Un tel modèle permet également un recalcul des impacts, et donc permet une adaptation aux évolutions normatives fréquentes, impliquant des modifications des indicateurs de référence.



QUELQUES OUTILS POUR REALISER UNE ACV

Non exhaustif



**Quantité
métrés**

X

**Impacts unitaires
FDES, PEP**

=

**Impact
total**



Unité fonctionnelle

- Modules A1-A4
- Limité à l'Indicateur changement climatique



Ouvrages d'art courants

Référencement en cours sur la plateforme de l'Achat Public



Dans un premier temps sont visés les **ouvrages d'art courants**¹. Nous entendons par là les ponts-types du SETRA (ponts cadres et portiques, ponts-dalles, ponts à poutres), catégorie qui peut être élargie à des ouvrages approchant (ponts à béquilles, ponts cadres ou portiques multiples, etc.). Quelques exemples sont donnés sur la figure 3.

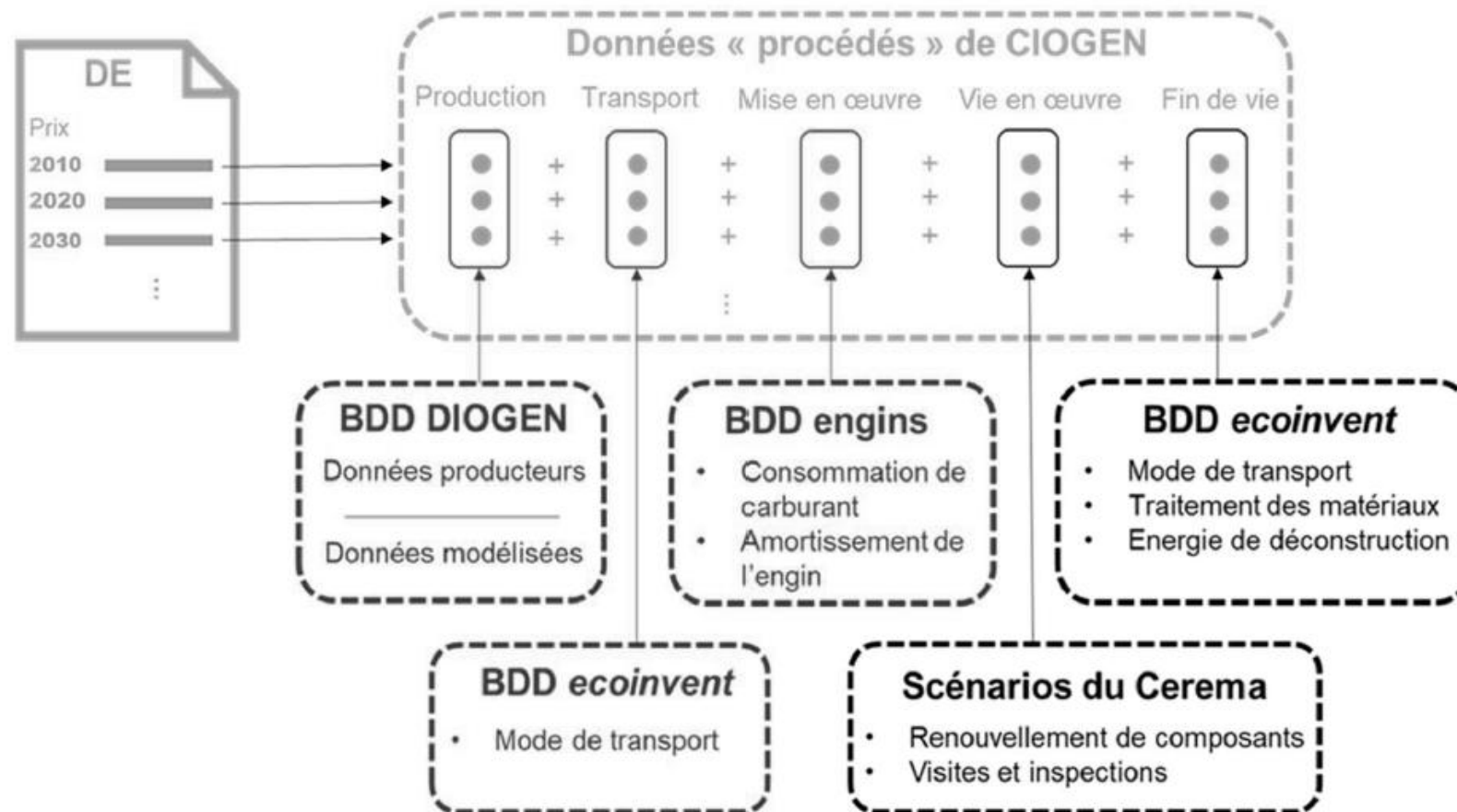


(a) Cadre fermé de béton armé (PICF)



(b) Dalle pleine de béton précontraint (PSIDP)

¹ Les ouvrages d'art non courants (classification de 1994) sont les ponts qui dépassent certains critères – travée supérieure à 40 mètres, surface du tablier supérieure à 1200 m²... – les ponts mobiles et les ponts canaux, ou encore les ponts ayant nécessité des difficultés particulières de conception (terrain, géométrie non classique, emploi de techniques non codifiées, etc.). Les autres ponts entrent dans la catégorie des ouvrages d'art courants.





- ▶ 1000 – Prix généraux
- ▶ 2000 – Aciers, bétons, coffrages
- ▶ 3000 – Ossature métallique du tablier
- ▶ 4000 – Fondations et soutènements
- ▶ 5000 – Appareils d'appui, bossages et dés de vérinage
- ▶ 6000 – Equipements
- ▶ 7000 – Travaux divers

Objectifs

Concepteurs/BET et entreprises de travaux : Comparer différentes solutions d'ouvrages afin de déterminer des leviers de réduction des impacts

Maîtrise d'ouvrage : Affiner ses critères de jugement des offres

Maîtrise d'œuvre : Comparer différentes offres d'entreprises (pour la maîtrise d'ouvrage)

Entreprises de travaux et concepteurs : Evaluer leurs solutions

Entreprises de travaux et maîtrise d'ouvrage : Evaluer l'impact environnemental complet de l'ouvrage

Tous : Constituer une BDD de référence des impacts des chantiers français

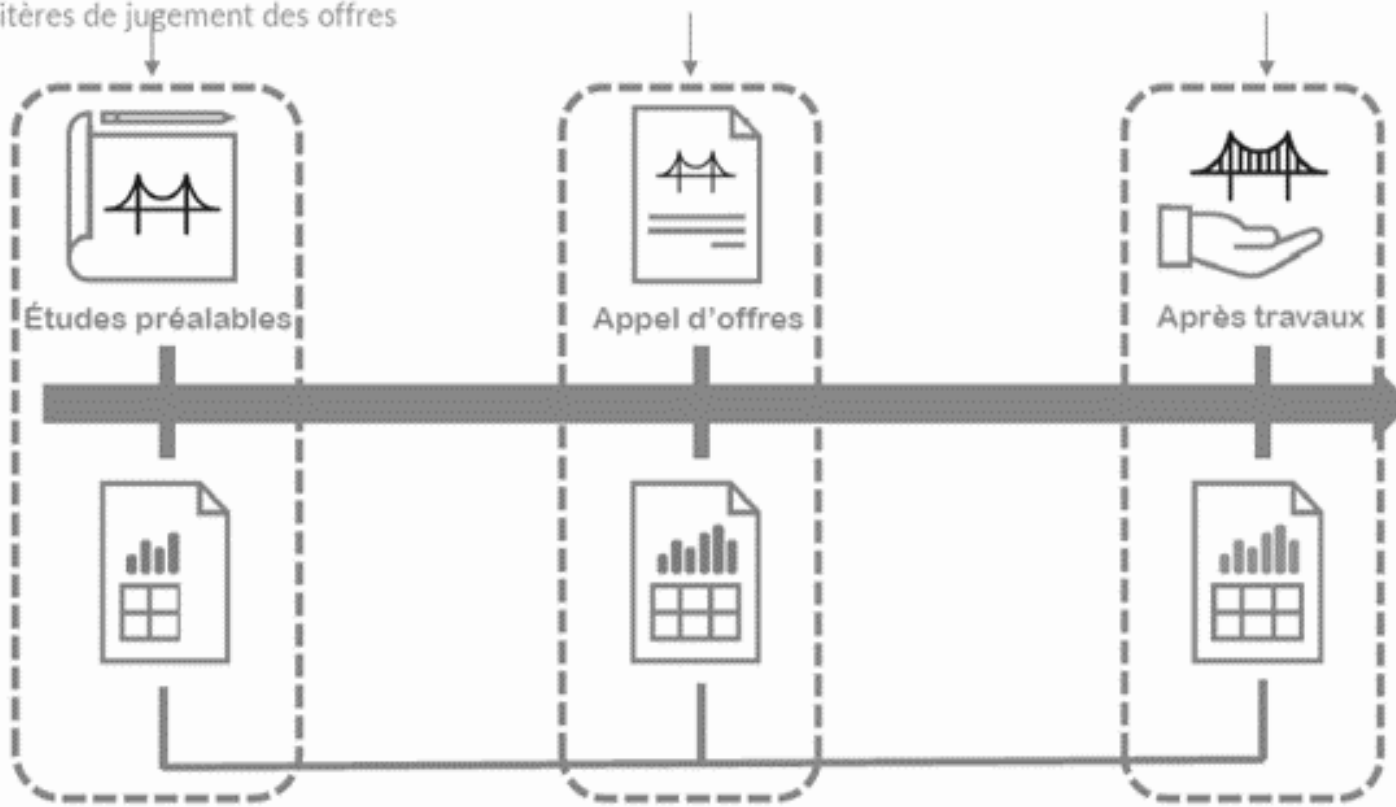
Phase du projet

Études préalables

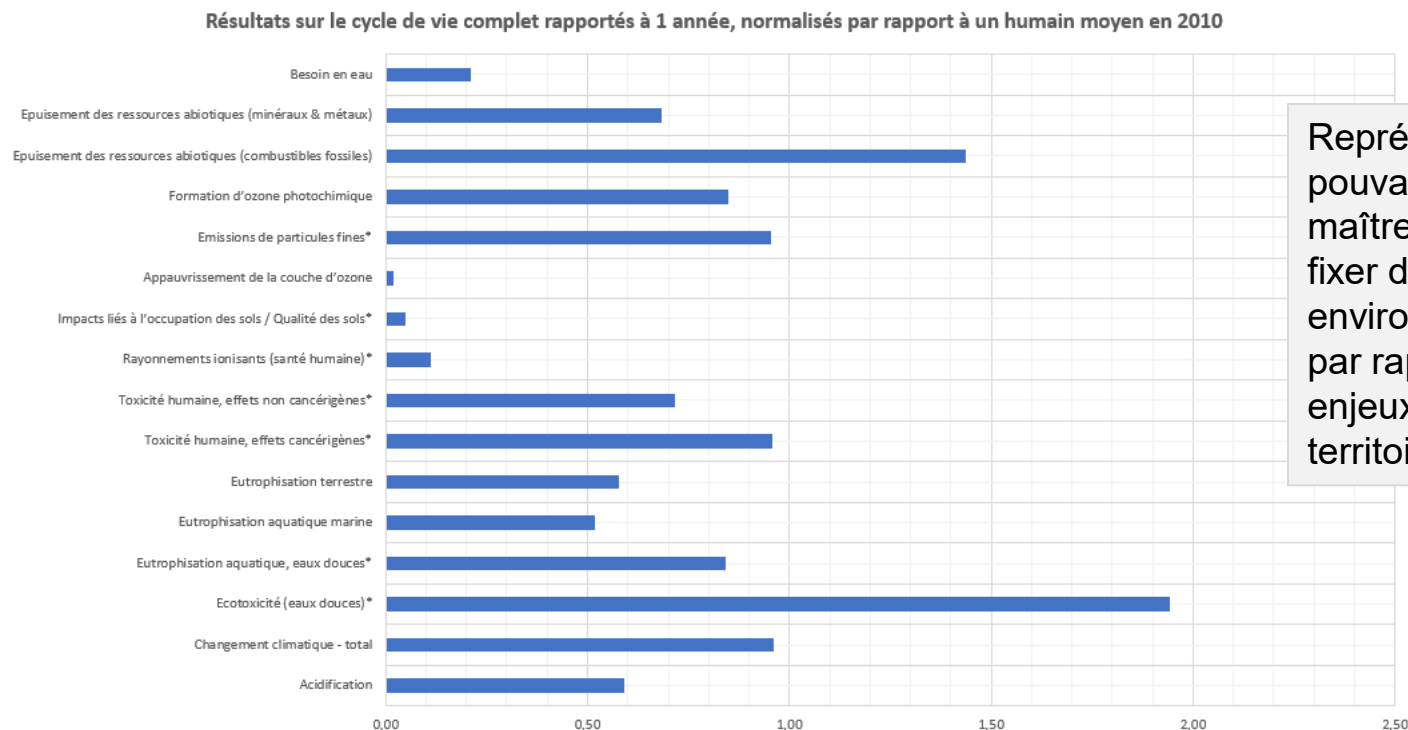
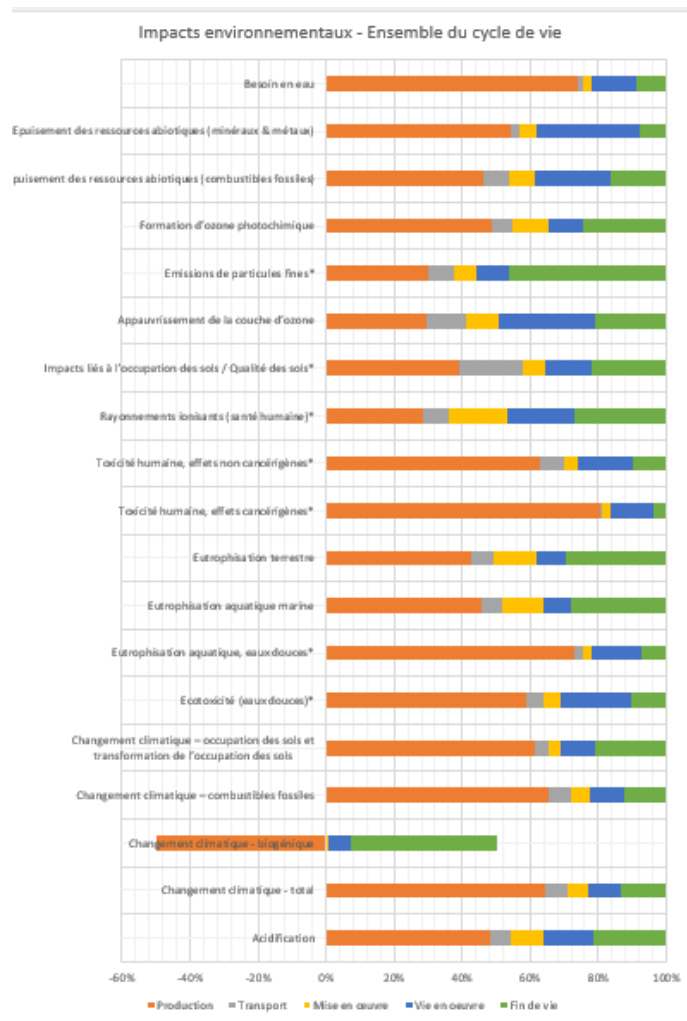
Appel d'offres

Après travaux

Variante de l'outil CIOGEN



De nombreux indicateurs d'impacts environnementaux, Il n'y a pas que les GES dans la vie !



Représentation pouvant aider un maître d'ouvrage à fixer des objectifs environnementaux par rapport aux enjeux de son territoire



Référencement prochain de CIOGEN sur la plateforme de l'achat public

GT sur l'insertion de clauses ACV dans les marchés travaux d'ouvrages d'art

- **1^{ère} étape** : Retour d'expériences sur l'intégration de clauses environnementales dans le jugement des appels d'offres
- **2nde étape** : Analyse des contraintes juridiques permettant de respecter les textes en vigueur, en s'appuyant sur des personnes compétentes dans le domaine
- **3^{ème} étape** : Proposition de critères objectifs et précis à introduire dans les marchés ainsi qu'une échelle de cotation. Des cas tests seront simulés sur des travaux de construction d'OA courants pour évaluer un système d'analyse global des offres sur les différents critères classiques d'un appel d'offre et en testant la sensibilité des systèmes de cotation des différents critères
- **4^{ème} étape** : Rédaction d'un document dont la forme reste à définir (note/guide) pour reprendre les éléments clés issus de ce travail et proposer des éléments méthodologiques pour la rédaction des marchés et le jugement des offres : critères objectifs et précis, échelle de cotation, insertion dans le système d'analyse global des offres (critères technique, économique et environnemental)
- **Calendrier**
 - Lancement des travaux : octobre 2024
 - Fin des travaux prévus : 2nd semestre 2025

Cerema « Intégration d'un sous-critère environnemental ACV dans les marchés de construction d'OA »

Contexte réglementaire

- Obligation de disposer d'au moins un critère environnemental pour l'attribution d'un marché public, au plus tard le 22/08/2026 (Art. 35 Loi Climat Résilience)
- Plan National des Achats Durables 2022-2025: objectif 100 % de contrats avec considération environnementale en 2025
- L'Etat met des outils ACV à disposition des acheteurs (Art. 36 Loi Climat Résilience)

Objectif et périmètre des réflexions

- Proposer des éléments méthodologiques pour intégrer un sous-critère ACV dans les marchés de construction neuve d'OA

Champ d'application

- Construction neuve d'OA (exclu: réparation / maintenance)
- Limité à la phase d'exécution des travaux
- Exclusion : inapplicable aux marchés « accord-cadre » et à la conception



Cimbéton



Cerema « Intégration d'un sous-critère environnemental ACV dans les marchés de construction d'OA »

Notation des offres

- Critère environnemental scindé en qualitatif et quantitatif (ACV)
- Répartition indicative
 - Environ 50 / 50 entre qualitatif et quantitatif
 - 10 points / 100 pour chacun (qualitatif et quantitatif)
- Selon les enjeux du chantier, il convient d'adapter le poids du critère (ex: proximité d'une réserve naturelle)
- Nécessité d'une étude préalable pour fixer indicateurs et pondérations

Choix des indicateurs d'ACV

- Plusieurs indicateurs possibles
- A partir d'une étude préalable
 - Sélection des indicateurs les plus pertinents et les plus impactants
 - Inscription et justification de la liste retenue dans le DCE (transparence d'évaluation des offres et défense juridique)

Indicateurs de la norme NF EN15804+A2	Unité
Potentiel de réchauffement global - total (PRG-total)	kg de CO ₂ équiv.
Potentiel de réchauffement global - fossile (PRG-fossile)	kg de CO ₂ équiv.
Potentiel de réchauffement global - biogénique (PRG-biogénique)	kg de CO ₂ équiv.
Potentiel de réchauffement global - occupation des sols et transformation de l'occupation des sols (PRG-luluc)	kg de CO ₂ équiv.
Potentiel de destruction de la couche d'ozone stratosphérique (ODP)	kg de CFC 11 équiv.
Potentiel d'acidification, dépassement cumulé (AP)	mole de H ⁺ équiv.
Potentiel d'eutrophisation, fraction d'éléments nutritifs atteignant le compartiment final eaux douces (EP-eaux douces)	~ kg de P équiv.
Potentiel d'eutrophisation, fraction d'éléments nutritifs atteignant le compartiment final marine (EP-marine)	kg de N équiv.
Potentiel d'acidification, dépassement cumulé (EP-terrestre)	mole de N équiv.
Potentiel de formation d'ozone troposphérique (POCP)	kg de COVNM équiv.
Potentiel d'épuisement pour les ressources abiotiques non fossiles (ADP-minéraux+métaux)	kg de Sb équiv.
Potentiel d'épuisement pour les ressources fossiles (ADP-fossile)	MJ, pouvoir calorifique inférieur
Potentiel de privation en eau (des utilisateurs), consommation d'eau pondérée en fonction de la privation (WDP)	m ³ de privation équiv. dans le monde

Cerema « Intégration d'un sous-critère environnemental ACV dans les marchés de construction d'OA »

Méthode de notation

- Exemple pratique

Indicateur normalisé	Changement climatique Total (/1,5)	Eutrophisation aquatique, eaux douces (/1,5)	Toxicité humaine effets cancérigènes (/1,5)	Emissions de particules fines (/1,5)	Formation d'ozone photochimique (/1,5)	Epuisement des ressources abiotiques (combustibles fossiles) / 1,5	Note sur 9
Candidat 1	1,5	0,9	1,1	1,5	1,5	1,4	7,9
Candidat 2	1,3	1,3	1,3	1,0	1,0	1,2	7,1
Candidat 3	1,1	1,5	1,5	0,7	0,6	1,0	6,4
Candidat 4	1,2	1,2	1,1	0,9	0,8	1,1	6,3
Candidat 5	1,5	1,5	1,3	1,3	1,3	1,5	8,4



- Méthode privilégiée : formule hyperbolique classique, neutre et répandue

$$Note\ du\ sous\ critère\ du\ candidat = \frac{\min[Valeur\ de\ toutes\ les\ offres]}{Valeur\ de\ l'offre\ du\ candidat} \times Note\ maximale$$

Cerema « Intégration d'un sous-critère environnemental ACV dans les marchés de construction d'OA »

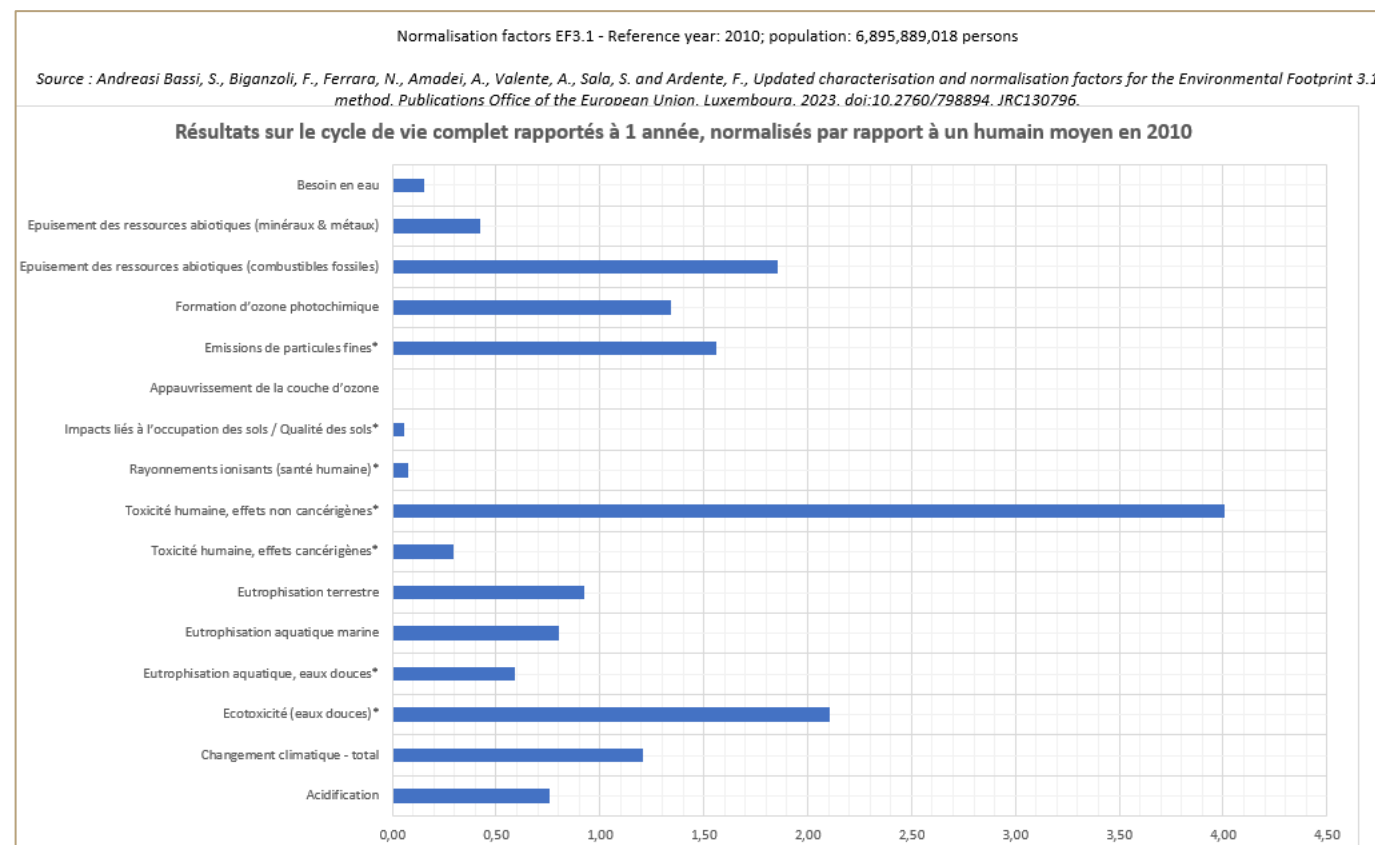
Outil recommandé :

- Outil de référence pour OA (AFGC / Cerema / Navier)



- Versions : Etudes préalables / Appel d'offres / Après travaux
- Accès gratuit – Format Excel – Mise à jour annuelle

« CIOGEN garantit une base harmonisée et facilite une comparaison équitable »



Cerema « Intégration d'un sous-critère environnemental ACV dans les marchés de construction d'OA »

Données à demander aux candidats

- Si l'entreprise saisie les données dans un outil dédié : Fichiers sources + exiger une note méthodologique
- Si les calculs sont réalisés par le MOA / MOE ou son représentant : Grille de saisie / fiches de recueil standardisées
- Justificatifs éventuels à produire : FDES ou DEP selon la norme NF EN 15 804+A2, etc.
- Réflexions menées sur les formulations dans les documents de consultation pour le recours à un outil spécifique

Être en capacité de comparer les différentes offres, sur une base commune

Cerema « Intégration d'un sous-critère environnemental ACV dans les marchés de construction d'OA »

Vie du marché : suivi et primes / pénalités

- Recommandations sur le système de primes / pénalités
 - **Option 1:**
 - phase d'observation où seule la notation environnementale est appliquée lors de l'appel d'offre accompagnée d'un suivi de chantier.
 - Si aucun progrès constaté, activation d'un système de primes / pénalités
 - **Option 2:** intégrer dès le départ un système de primes / pénalités, avec des montants modérés, tout en assurant une évaluation rigoureuse des efforts réalisés
- Recalculs parfois nécessaire par le MOE / MOA (avant avenant ou suivant les choix des entreprises / sous-traitants) : s'assurer d'être sur la même version de l'outil pour la comparaison avant / après
- Encadrement : paliers, plafonds : prévenir les risques d'aubaine
- Contrôle extérieur, vérifications inopinées : Evolution du rôle du contrôle extérieur / AMO en ACV



DGITM - Infrastructures et mobilités



5.11.26: Séminaire DIOGEN / CIOGEN

10h Ouverture du séminaire par Éric Ollinger (DGITM – Ministère de la Transition Écologique)

10h10 Partie 1 – De la donnée environnementale aux critères ACV dans les marchés publics

- La base de données DIOGEN : structuration, enjeux et rôle de la donnée environnementale pour les ouvrages d'art (Adélaïde Feraille – Lab. Navier)
- L'outil CIOGEN : genèse, développement et fonctionnalités pour l'ACV des infrastructures (Tiffany Desbois – Cerema)
- Évolution des exigences réglementaires environnementales applicables aux ouvrages d'art (Pierre de Laclos et Frédéric Rocher Lacoste – DGITM – Ministère de la Transition Écologique)
- Intégrer l'ACV dans la commande publique : réflexions sur la méthodologie d'application d'un sous-critère environnemental pour les ouvrages d'art (Virginie Perier et Tiffany Desbois – Cerema)
- Hommage à Yannick Tardivel : un engagement pionnier pour l'ingénierie durable

12h30 Pause déjeuner

14h Partie 2 – Du projet à la formation : Retours d'expérience et cas pratiques d'utilisation de CIOGEN

- CIOGEN – outil ACV utilisé dans les analyses des offres et dans le choix des solutions en études amont des projets OA d'ADP – retour d'expériences (ZeYi Wu – ADP)
- Le point de vue du MOE : Retour d'utilisation de CIOGEN sur un projet de pont et passerelle en phase d'Appel d'Offres (Sarah Bidani et Isabelle Moulin – Setec)
- Retour d'expérience Entreprise sur un projet de Pont en phase d'Appel d'Offres (Sahar Nedelec, Déborah Fressonnet et Louise Drujon – BYTP)
- ACV du passage supérieur de Cocloye en Saône et Loire : rétro-ingénierie du guide T87 (Cimbéton) revisité avec CIOGEN (Benjamin Daubilly – France Ciment)
- Sensibiliser et outiller les futurs acteurs des infrastructures : l'ACV enseignée avec CIOGEN (Julien Cravero – EIVP/UGE et Robine Calixte – ESITC)

16h30 Partie 3 – Table ronde – DIOGEN & CIOGEN : Quelles perspectives et ambitions pour l'ACV des infrastructures de demain ?

17h Clôture du séminaire